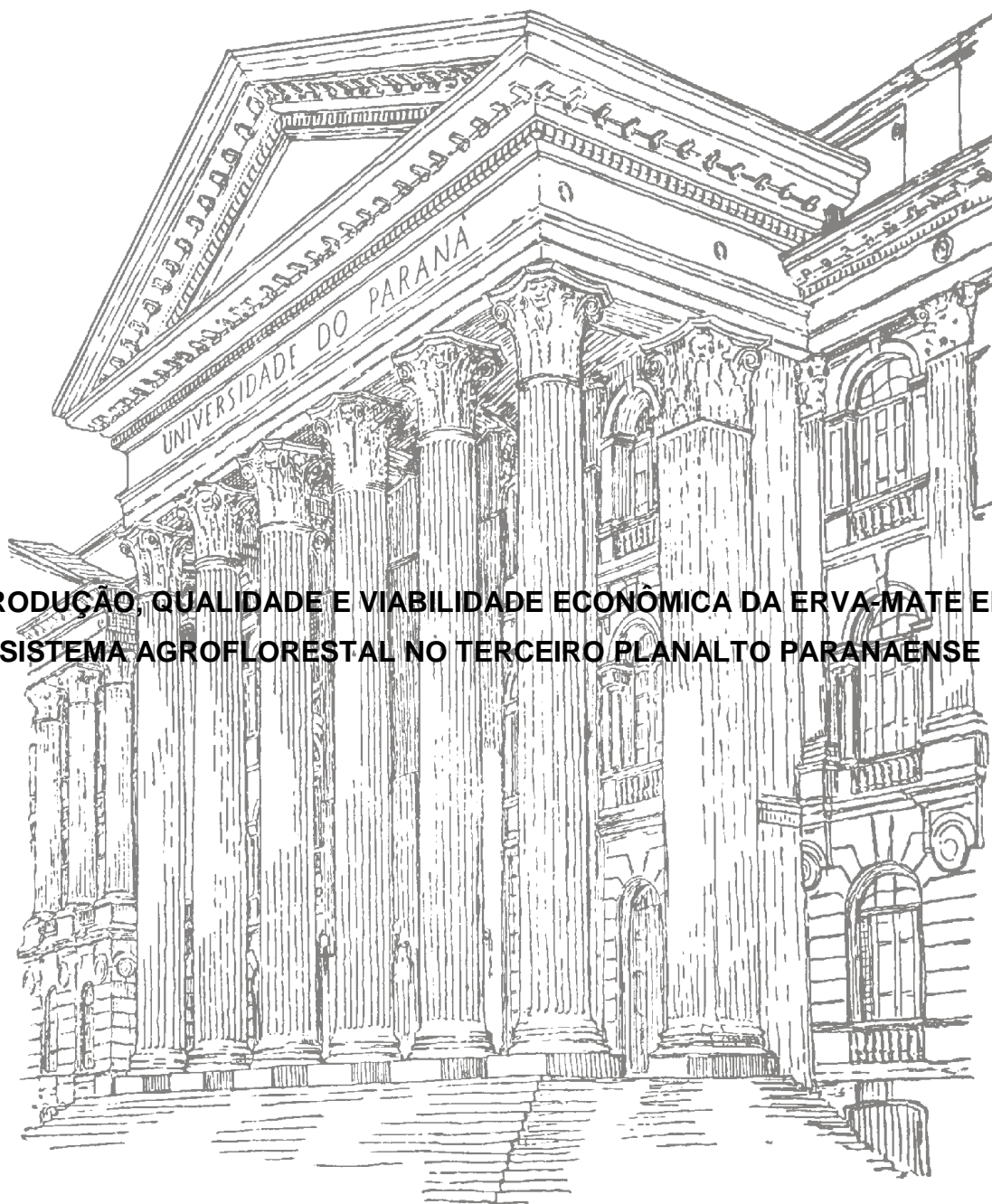


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIELLE JANAINA WESTPHALEN

**PRODUÇÃO, QUALIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA ERVA-MATE EM
SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE**



**CURITIBA
2016**

DANIELLE JANAINA WESTPHALEN

**PRODUÇÃO, QUALIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA ERVA-MATE EM
SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal. Área de Concentração: Silvicultura.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo

Co-orientador: PhD. Itamar Antonio Bognola

Co-orientador: Prof. Dr. Übersson Boaretto Rossa

**CURITIBA
2016**

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Westphalen, Danielle Janaina

Produção, qualidade e viabilidade econômica da erva-mate em sistema agroflorestal no terceiro planalto paranaense / Danielle Janaina Westphalen. – Curitiba, 2016.

165 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo

Coorientadores: PhD. Itamar Antonio Bognola

Prof. Dr. Übersen Boaretto Rossa

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 23/02/2016.

Área de concentração: Silvicultura.

1. Erva-mate. 2. Plantas – Efeitos dos minerais. 3. Plantas – Efeito da luz. 4. Produtividade florestal. 5. Teses. I. Angelo, Alessandro Camargo. II. Bognola, Itamar Antonio. III. Rossa, Übersen Boaretto. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

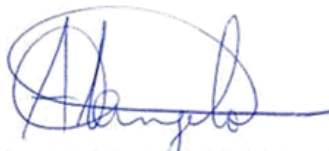
CDD – 634.9

CDU – 634.0.285

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Tese de Doutorado de **DANIELLE JANAINA WESTPHALEN**, intitulada: **"PRODUÇÃO, QUALIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA ERVA MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE"**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 23 de Fevereiro de 2016.



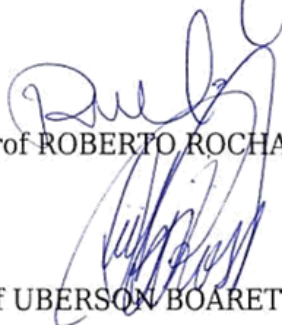
Prof ALESSANDRO CAMARGO ANGELO (UFPR)
(Presidente da Banca Examinadora)



Prof CRISTIANE VIEIRA HELM (EMBRAPA)



Prof KAREN KOCH FERNANDES DE SOUZA (PUC/PR)



Prof ROBERTO ROCHADELLI (UFPR)

Prof UBERSON BOARETTO ROSSA (IÊC)



Um ciclo de quatro anos se passou e muito coisa foi superada. Hoje, comemoro mais uma conquista, mas, sozinha, não teria conseguido. Agradeço aos meus pais, que me acompanharam nesta trajetória, me apoiando e incentivando. Agradeço o apoio das minhas queridas filhas Beatriz e Laura. Agradeço aos novos amigos que conquistei e, aos velhos amigos, a compreensão pela ausência nos momentos de estudo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Alessandro Camargo Angelo, meu orientador, por ter aceitado o desafio de realizarmos juntos esse trabalho.

Ao professor Dr. Übersson Boaretto Rossa do Instituto Federal Catarinense- IFC pela parceria na pesquisa e co-orientação.

Ao PhD. Dr Itamar Antonio Bognola, pesquisador da Embrapa Florestas pela amizade e co-orientação na pesquisa.

A Doutora Cristiane Vieira Helm pesquisadora da Embrapa Florestas pela amizade e ajuda nas análises com a disponibilização de seu laboratório.

Ao professor Dr. PhD. Carlos Eduardo Nogueira Martins do Instituto Federal Catarinense- IFC pela amizade e orientação na análise estatística.

Ao professor Dr. Roberto Rochadelli da Universidade Federal do Paraná pelas suas contribuições e amizade.

Ao proprietário Antonio Schier que disponibilizou sua área para as pesquisas e contribuiu com a sua experiência durante todo o trabalho.

Aos colegas de pós-graduação agradeço pela amizade e convívio. A todos aqueles que, de alguma maneira, incentivaram e colaboraram para a realização desta pesquisa. Meu muito obrigada.

Epígrafe

“Eu acredito demais na sorte. E tenho constatado que, quanto mais duro eu trabalho, mais sorte eu tenho”

Thomas Jefferson

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade da erva-mate, mensurar o teor nas folhas de macro e micronutrientes, proteínas, compostos fenólicos totais e metilxantinas totais, sob efeito de diferentes faixas de luminosidade aparente e adubação mineral, além de avaliar o crescimento e a produção de madeira de eucalipto com análise da viabilidade econômica do sistema. A pesquisa foi realizada em Guarapuava-PR, no esquema experimental de blocos casualizados, com 9 tratamentos em 3 repetições, totalizando 27 parcelas de 180m², com 10 plantas úteis de erva-mate. Os tratamentos foram constituídos representando sistema agroflorestal contínuo, onde o componente arbóreo (*Eucalyptus* spp.) entrou com função de produzir sombra, sendo correspondente a 45% e 30% da intensidade a campo aberto. Nas erveiras sem o componente arbóreo, a iluminância foi correspondente a 60 % da intensidade a campo aberto. Os tratamentos com a faixas de luminosidades foram combinados sem adubação nas erveiras (NA), com adubação mineral convencional de pronta solubilização (AC) e adubação mineral de liberação controlada (ALC). ALC e AC proporcionaram aumento da área foliar das erveiras nas faixas de luminosidade de 45% e 30%. O tratamento AC promove incremento de peso nas folhas da erva-mate e o diâmetro de copa da erva-mate teve seu maior desenvolvimento com luminosidade de 60%, obtendo-se maior produtividade de biomassa comercial na luminosidade aparente de 60% no tratamento NA. Os teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio e ferro na folhas de erva-mate obtiveram acréscimo na luminosidade aparente de 30%, sendo que a adubação não promoveu incremento. Já o teor de cálcio induziu incremento na faixa de luminosidade de 45% tendo efeito da ALC e AC. O magnésio, manganês e cobre tiveram incrementos nas faixas de luminosidade 60% e 45%. Para o zinco e sódio o sombreamento teve efeito no incremento. Na quantificação dos fitoquímicos, o teor de proteína nas folhas de erva-mate foi maior na luminosidade aparente de 30%, 45% e 60%. A AC promoveu aumento do teor de proteína nas folhas. As faixas de luminosidade e a adubação não promoveu aumento dos compostos fenólicos nas folhas. O teor das metilxantinas totais nas folhas de erva-mate potencializa-se até a luminosidade aparente de 45% quando AC. A ALC promove incremento corrente de 13,46% no DAP do eucalipto, quando cultivado em espaçamento 10X8 m. O volume de madeira do eucalipto teve acréscimo de 12,61% no ALC no espaçamento 10x8 m. O sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto são eficientes em 35% no uso da terra, quando comparado com o sistema solteiro da erva-mate. A adubação de NPK nas erveiras, tanto AC e ALC é excludente no período de 5 anos, não tendo relação favorável entre os benefícios e custos para o sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto. Na simulação para 23 anos de sistema agroflorestal, o tratamento AC no espaçamento 20x8 metros no eucalipto, tem uma relação favorável de produtividade e custos, trazendo ao produtor viabilidade econômica.

Palavras chaves: adubação mineral. luminosidade. silvicultura. fitoquímicos. eficiência produtiva.

ABSTRACT

This study purpose to evaluate the mate productivity, measuring the content in the macro and micronutrients leaves, proteins, totals phenolic compounds and totals methylxanthines, bellow of different apparent luminosities tracks and mineral fertilizer, beyond evaluating the growth and production of eucalyptus wood and economic system feasibility. The research was conducted in Guarapuava -PR, where the experimental design was in randomized blocks, with 9 treatments in 3 repetitions, totaling 27 plots of 180m², with 10 useful plants of yerba mate. The treatments were constituted representing a continued agroforestry system, where the arboreal component (*Eucalyptus* spp) enter with a function to produce shadow, which corresponds to 45% and 30 % intensity in the open field. In yerba mate without the arboreal component (*Eucalyptus* spp) , the illuminance was equal to 60 % of the intensity in the open field. The treatments with luminosities tracks were combined with different fertilizers , with no fertilization in Yerba Mate (NF), with mineral conventional fertilizer of prompt solubilization (CF) and mineral controlled-release fertiliser (CRF). CRF and CF provide increase in the leaf area of Yerba in the luminosities tracks from 45 % to 30 %. The CF promoted weight increase in the yerba mate leaves and the diameter of the treetop had its greatest development with lighting 60 %, resulting in higher productivity of commercial biomass in the apparent luminosity of 60 % when NF. The carbon content, nitrogen, phosphorus, potassium and iron in the yerba mate leves obtained increase in apparent luminosity by 30%, and the fertilization did not promote increment. The calcium content increased in luminosities tracks 45% with effect from CRF and CF. Magnesium, manganese and copper showed increases in luminosities tracks 60 % and 45 %. For zinc and sodium the shading had no effect on increment. In quantifying of the phytochemicals, the protein content in leaves of yerba mate was bigger in the apparent luminosity of 30%, 45% and 60%. The CF promoted increased protein content in the leaves. The apparent luminosities tracks and the fertilization did not increase the phenolic compounds in the leaves. The content of total methylxanthines in yerba mate leaves potentiated to the apparent luminosity of 45% when fertilized conventionally. The CRF promoted increment of 13.46% in Eucalyptus diameter, when cultivated in the spacing 10X8 m. Eucalyptus wood volume had to 12.61% in the LAC spacing 10x8 m. The agroforestry system yerba mate and eucalyptus are effective in 35% of land use compared to the single system of yerba mate. Fertilization of NPK in ervaíras both AC and ALC is exclusionary in 5 years, having favorable relationship between the benefits and costs for agroforestry system yerba mate and eucalyptus. In the simulation for 23 years agroforestry system, the AC treatment spacing 20x8 meters in eucalyptus, have a favorable ratio of productivity and cost, bringing the producer economic viability.

Key words: mineral fertilizer. lightness. forestry. phytochemical. production efficiency.

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

FIGURA 1.1 - ÁREA DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ERVA-MATE.....	12
FIGURA 1.2 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA.....	14
FIGURA 1.3 - MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	16
FIGURA 1.4 - MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	17
FIGURA 1.5 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE.....	20
FIGURA 1.6 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA ERVA-MATE.....	20
FIGURA 1.7 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3.....	22
FIGURA 1.8 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T4, T5 E T6.....	22
FIGURA 1.9 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9.....	23
FIGURA 1.10 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO.....	24
FIGURA 1.11 - FOLHAS DE ERVA-MATE NAS DIFERENTES LUMINOSIDADES COM ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA A) 60%, (B) 45% E (C) 30%.....	28
FIGURA 1.12 - FOLHAS DE ERVA-MATE NAS DIFERENTES LUMINOSIDADES SEM ADUBAÇÃO.....	29

CAPITULO II

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA.....	52
FIGURA 1.2 - MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	54
FIGURA 1.3 - MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	55
FIGURA 1.4 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE.....	58
FIGURA 1.5 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA ERVA-MATE.....	58
FIGURA 1.6 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3.....	60
FIGURA 1.7 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T4, T5 E T6.....	60
FIGURA 1.8 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9.....	61
FIGURA 1.9 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO.....	62

CAPITULO III

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA.....	93
FIGURA 1.2 - MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	95
FIGURA 1.3 - MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	96
FIGURA 1.4 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE.....	99
FIGURA 1.5 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA ERVA-MATE.....	99
FIGURA 1.6 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3.....	101
FIGURA 1.7 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T4, T5 E T6.....	101
FIGURA 1.8 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9.....	102

FIGURA 1.9 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO.....	103
---	-----

CAPITULO IV

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA.....	131
FIGURA 1.2 - MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	133
FIGURA 1.3 - MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL.....	134
FIGURA 1.4 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE.....	137
FIGURA 1.5 - METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA ERVA-MATE.....	137
FIGURA 1.6 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3.....	139
FIGURA 1.7 - CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9.....	140
FIGURA 1.8 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO.....	141
FIGURA 1.9 - APLICAÇÃO DA MEDODOLOGIA DA CUBAGEM.....	142

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

TABELA 1.1- DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA-MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	17
TABELA 1.2- TEXTURA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	18
TABELA 1.3 - TEORES DE CARBONO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA - MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	27
TABELA 1.4 – EFEITO DA ADUBAÇÃO NO PESO SECO DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO.....	29
TABELA 1.5 – AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO PESO UMIDO/PESO SECO DAS 100 FOLHAS DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	30
TABELA 1.6 – AVALIAÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	31
TABELA 1.7 – EFEITO DAS FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE NO DIÂMETRO DE COPA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL.....	31
TABELA 1.8 – AVALIAÇÃO DA ALTURA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	32

TABELA 1.9 – EFEITO DAS FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) NA BIOMASSA POR PLANTA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO.....	34
--	----

CAPITULO II

TABELA 1.1 - DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	55
TABELA 1.2 - TEXTURA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	56
TABELA 1.3 - TEORES DE CARBONO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	66
TABELA 1.4 - TEORES DE NITROGENIO EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	67
TABELA 1.5 - TEORES DE FOSFORO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	68
TABELA 1.6 - TEORES DE POTASSIO, CALCIO, MAGNESIO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	69
TABELA 1.7 - TEORES DE FERRO, MANGANÊS, ZINCO E SODIO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO.....	72

TABELA 1.8 - EFEITOS DE DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE NO TEOR DE COBRE PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO.....	74
CAPITULO III	
TABELA 1.1 - DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA-MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	96
TABELA 1.2 - TEXTURAS DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	97
TABELA 1.3 - TEOR DE PROTEÍNA EM FOLHAS DE ERVA-MATE SUBMETIDA A DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO.....	107
TABELA 1.4 - EFEITO DA ADUBAÇÃO NO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL.....	110
TABELA 1.5 - TEOR DE METILXANTINAS EM FOLHAS DE ERVA-MATE SUBMETIDA A FAIXAS DE LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO.....	111
CAPITULO IV	
TABELA 1.1 - DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA-MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	134
TABELA 1.2 - TEXTURAS DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	135
TABELA 1.3 - QUANTIFICAÇÃO MÉDIA DO DIÂMETRO (CM) E ALTURA (M) INDIVIDUAL DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20 X 8 M E 10 X 8 M COM 11 ANOS DE IDADE.....	148
TABELA 1.4 - INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) E INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) DA ALTURA DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 10 X 8 M.....	151

TABELA 1.5 – VOLUME DE MADEIRA, INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DE VOLUME DE EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 10 X 8 M.....	151
TABELA 1.6 – INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) E INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) DA ALTURA DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20 X 8 M.....	154
TABELA 1.7 – VOLUME DE MADEIRA, INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DE VOLUME DE EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20 X 8 M.....	154
TABELA 1.8 – EQUIVALENCIA DE USO DA AREA PARCIAL E TOTAL (UET) PARA OS TRATAMENTOS NAS FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE DE 45% E 30%.....	155
TABELA 1.9 – TAXA DE RETORNO DE FISHER PARA OS ARRANJOS 20X8 E 10X8 METROS NO PERÍODO DE 5 E 23 ANOS.....	156

LISTA DE GRAFICOS

CAPITULO I

GRAFICO 1.1 – AVALIAÇÃO DA BIOMASSA COMERCIAL DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60%, 45% E 30%) E NÃO ADUBADO (NA), ADUBAÇÃO CONVENCIONAL (AC) E DE LIBERAÇÃO CONTROLADA (ALC).....	33
--	----

CAPITULO III

GRÁFICO 1.1 – TEORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE SUBMETIDA DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE (60%, 45% E 30%) E ADUBAÇÃO (NÃO ADUBADO (NA), ADUBAÇÃO CONVENCIONAL (AC) E ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA (ALC).....	109
--	-----

CAPITULO IV

GRÁFICO 1.1 – INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DO DAP DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 10X8 M NOS TRATAMENTOS NÃO ADUBADO (NA), ADUBAÇÃO CONVENCIONAL(AC) E ADUBAÇÃO LIBERAÇÃO CONTROLADA(ALC).....	150
GRÁFICO 1.2 – INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DO DAP DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20X8 M NOS TRATAMENTOS NÃO ADUBADO (NA), ADUBAÇÃO CONVENCIONAL(AC) E ADUBAÇÃO LIBERAÇÃO CONTROLADA(ALC).....	153

LISTA DE QUADROS

CAPITULO I

QUADRO 1.1- PERÍODO E FORMULAÇÃO.....	19
---------------------------------------	----

CAPITULO II

QUADRO 1.1 - QUANTIDADES DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DE POVOAMENTO DE ILEX PARAGUARIENSIS COM 12 ANOS DE IDADE.....	49
QUADRO 1.2 - COMPOSIÇÕES MINERAL DE FOLHAS E RAMOS % NAS ESTAÇÕES DE INVERNO E PRIMAVERA.....	49
QUADRO 1.3 - PERÍODO E FORMULAÇÃO.....	57

CAPITULO III

QUADRO 1.1- PERÍODO E FORMULAÇÃO.....	98
---------------------------------------	----

CAPITULO IV

QUADRO 1.1- PERÍODO E FORMULAÇÃO.....	136
---------------------------------------	-----

SUMÁRIO

CAPITULO I BIOMASSA COMERCIAL DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO SUBMETIDA A DIFERENTES LUMINOSIDADES E ADUBAÇÃO MINERAL

1 INTRODUÇÃO	2
1.1 PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICATIVA	3
1.3 HIPÓTESE	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo Geral	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA DE SISTEMA AGROFLORESTAL (SAFS)	5
2.1.1 Definição	5
2.1.2 Importância	6
2.1.3 Princípios de Interação em Sistema Agroflorestal	7
2.1.4 Componentes para Sistemas Agroflorestal	8
2.1.5 Classificação e Características <i>Eucalypto grandis</i> Hill ex Maiden	10
2.1.6 Histórico, Classificação e Produção da Erva-Mate	11
3 MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA	14
3.2 HISTÓRICO DA ÁREA	14
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	16
3.4 ANÁLISE DO SOLO	17
3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	18
3.5.1 Luminosidade Aparente	18
3.5.2 Adubação	19
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	21

3.7 LEVANTAMENTO DENDROMÉTRICO.....	24
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSOES.....	27
4.1 VÁRIAVEIS DENDROMÉTRICAS.....	27
5 CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
CAPITULO II EFEITO DA LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO MINERAL NA	
COMPOSIÇÃO FOLIAR DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES DE	
ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL	
1 INTRODUÇÃO.....	45
1.1 PROBLEMA.....	46
1.2 JUSTIFICATIVA.....	46
1.3 HIPÓTESE.....	47
1.4 OBJETIVOS.....	47
1.4.1 Objetivo Geral.....	47
1.4.2 Objetivos específicos.....	47
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	48
2.1 COMPOSIÇÃO FOLIAR DA ERVA-MATE.....	48
2.2 ADUBAÇÃO MINERAL CONVENCIONAL E DE LIBERAÇÃO	
CONTROLADA.....	50
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA.....	52
3.2 HISTÓRICO DA ÁREA.....	52
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	54
3.4 ANÁLISE DO SOLO	55
3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO.....	56
3.5.1 Luminosidade Aparente.....	56
3.5.2 Adubação.....	57
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	59
3.7 COLETAS DAS FOLHAS.....	62

3.8 ANÁLISES DE P, K, CA, MG, NA, FE, MN, CU E ZN POR DIGESTÃO VIA SECA E SOLUBILIZAÇÃO COM HCL 3 MOL L ⁻¹	63
3.9 OBTENÇÃO DE EXTRATOS DE HIDROSSOLÚVEIS.....	63
3.10 ANÁLISE DE C E N.....	64
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1 TEOR FOLIAR DOS MACRONUTRIENTES.....	66
4.2 TEOR FOLIAR DOS MICRONUTRIENTES.....	71
5 CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS	77

CAPITULO III: LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO MINERAL NA PRODUÇÃO DE FITOQUÍMICOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL

1 INTRODUÇÃO.....	85
1.1 PROBLEMA.....	86
1.2 JUSTIFICATIVA.....	87
1.3 HIPÓTESE.....	87
1.4 OBJETIVOS.....	88
1.4.1 Objetivo Geral.....	88
1.4.2 Objetivos específicos.....	88
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	89
2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ERVA-MATE.....	89
2.1.1 Proteína Total.....	90
2.1.2 Classes dos Compostos Fenólicos.....	91
2.1.3 Classe das Metilxantinas.....	92
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	93
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA.....	93
3.2 HISTÓRICO DA ÁREA.....	93
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	95
3.4 ANALISE SOLO.....	96
3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO.....	97
3.5.1 Luminosidade Aparente	97

3.5.2 Adubação.....	98
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	100
3.7 COLETA DAS FOLHAS.....	103
3.8 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE PROTEÍNAS.....	104
3.9 QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS.....	104
3.10 QUANTIFICAÇÃO DAS METILXANTINAS.....	105
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	106
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	107
4.1 TEOR DE PROTEÍNA.....	107
4.2 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS.....	108
4.3 METILXANTINAS TOTAIS.....	111
5 CONCLUSÕES.....	144
REFERENCIAS.....	115
CAPITULO IV DESEMPENHO PRODUTIVO DO EUCALIPTO E VIABILIDADE	
ECONÔMICA DO SISTEMA AGROFLORESTAL SUBMETIDO A ADUBAÇÃO	
1 INTRODUÇÃO.....	120
1.1 PROBLEMA.....	122
1.2 JUSTIFICATIVA.....	123
1.3 HIPÓTESE.....	124
1.4 OBJETIVOS.....	124
1.4.1 Objetivo Geral.....	124
1.4.2 Objetivos específicos.....	124
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	126
2.1 CARACTERÍSTICAS DO EUCALIPTO.....	126
2.2 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL.....	127
2.3 MERCADO DA ERVA-MATE.....	128
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	131
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA.....	131
3.2 HISTÓRICO DA ÁREA.....	131
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	133
3.4 ANALISE SOLO.....	134

3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO.....	135
3.5.1 Luminosidade Aparente	135
3.5.2 Adubação.....	136
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	138
3.7 COLETA DE DADOS.....	141
3.7.1 Variáveis Dendrométricas.....	141
3.8 PRESSUPOSTO GERAIS	145
3.9 ANALISE ESTATÍSTICA	146
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	148
4.1 MENSURAÇÕES DA DIÂMETRO E ALTURA INDIVIDUAL DO POVOAMENTO DO EUCALIPTO	148
4.2 INCREMENTOS DENTRO DO ARRANJO ESPACIAL 10X8 M.....	149
4.3 VARIÁVEIS ANALISADAS DENTRO DO ARRANJO ESPACIAL DE ESPAÇAMENTO 20X8 M.....	152
4.4 EFICIÊNCIA NO USO DA TERRA (UET).....	155
4.5 VIABILIDADE DO SISTEMA AGROFLORESTAL.....	156
5 CONCLUSÕES.....	157
REFERENCIAS.....	158
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	165

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No estado do Paraná há uma crescente demanda por estudos sobre avaliação dos sistemas agroflorestais (SAFs) com a erva-mate (*Ilex Paraguariensis* A.St. Hill.) no que diz respeito aos seus componentes produtivos, qualidade e viabilidade econômica.

Historicamente as áreas foram exploradas por madeireiros, mediante processo de retirada das maiores árvores. Posteriormente, foi explorada a regeneração natural de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) para produção de lenha, sendo utilizada no processo de sapeco das folhas na industrialização da erva-mate que sofreu alterações na legislação ambiental vigente, sobre o corte florestal de nativas, provocando uma redução na oferta de madeira para os diversos fins.

Entre as opções econômicas para os produtores ervateiros destaca-se os plantios florestais introduzidos com a cultura da Erva-mate, aliado pela conversão de ervais a pleno sol para os sombreados, objetivando-se aproximar das características que o setor industrial da erva-mate prefere.

Buscando atender a essa demanda, este trabalho da continuidade na avaliação do sistema agroflorestal contínuo erva-mate e eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill. (Ex Maiden)) que iniciam em 2010 na Fazenda São José, município de Guarapuava- PR, a 25° 23' 36" de latitude sul, 51°27'19" de longitude oeste, 1110 m s.n.m. de altitude e distância de 286 km de Curitiba.

Este trabalho foi elaborado em quatro capítulos.

No capítulo I **“Biomassa Comercial de Erva-Mate em Sistema Agroflorestal Submetida a Diferentes Luminosidades e Adubação Mineral”**, apresenta-se os resultados de produtividade e de crescimento da erva-mate submetidas as diferentes arranjos de microclimas, em especial faixas de luminosidade e de adubações de pronta solubilidade e liberação controlada.

No capítulo II **“Efeito da Luminosidade e Adubação Mineral na Composição Foliar de Macronutrientes e Micronutrientes de Erva-mate em Sistema Agroflorestal”**, mensura-se o estado e desequilíbrios nutricionais, indicando as interações de antagonismo entre os nutrientes sobre diferentes faixas de luminosidades e de adubações, através da avaliação dos teores de macronutrientes C, N, P, K, Ca, Mg e de micronutrientes Na, Fe, Mn, Cu e Zn.

No capítulo III **“Luminosidade e Adubação Mineral na Produção de Fitoquímicos em Folhas de Erva-Mate em Sistema Agroflorestal”**, avalia a variação de teor de polifenóis (compostos fenólicos), pseudoalcalóides (metilxantinas) e proteínas nas diferentes faixas de luminosidade e adubação.

No capítulo IV **“Desempenho Produtivo do Eucalipto e Viabilidade Econômica do Sistema Agroflorestal submetido a Adubação”**, considera-se o crescimento do eucalipto pelas variáveis dendrométricas, calculando o rendimento de madeira e o incremento corrente, periódico e anual nos diferentes arranjos e manejo do sistema agroflorestal e evidencia-se a viabilidade econômica do sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto, utilizando os critérios da Análise da Eficiência Produtiva (UET) e Taxa de Retorno Incremental de Fisher.

CAPÍTULO I

**BIOMASSA COMERCIAL DE ERVA-MATE EM SISTEMA
AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO SUBMETIDA A DIFERENTES
LUMINOSIDADES E ADUBAÇÃO MINERAL**

PRODUÇÃO, QUALIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE

CAPÍTULO 1: BIOMASSA COMERCIAL DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO SUBMETIDA A DIFERENTES LUMINOSIDADES E ADUBAÇÃO MINERAL

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da erva-mate (*Ilex Paraguariensis* A.St. Hill.), tradicionalmente, configura a realização de uma prática agroflorestal, onde as espécies combinadas tem distribuição espacial desuniforme e apresentam interação mais intensa entre si.

A utilização de uma espécie lenhosa perene com cultivos agrícolas anuais ou perenes, tem sido difundida em todo o trópico como um uso tradicional da terra desenvolvido por agricultores de subsistência e, mais recentemente, como uma alternativa de uso da terra.

A opção do uso da terra com a introdução de espécies florestais madeiráveis vem estimulando os ervateiros a implantarem essas espécies nos seus cultivos puros, como alternativa de incremento de renda pela produção de lenha, visando a queima no processo de fabricação de erva-mate para chimarrão, ou para venda de madeira em forma de tora para distintos usos.

O sistema agroflorestal aumenta a diversidade, a qualidade e, em alguns casos, o rendimento das culturas e já está amplamente reconhecido. Entretanto, para o setor ervateiro é necessário o desenvolvimento de pesquisas nas áreas agrônoma, silvicultural e econômica.

1.1 PROBLEMA

A cultura da erva-mate, de maneira histórica, é explorada em sistemas naturais ou em povoamentos puros. Em decorrência das indústrias de outros países sul-americanos e estados brasileiros demandarem a matéria-prima de ervais sombreados, apresentando os melhores preços para o produtor e a maior demanda mercadológica pelo sabor conferido à bebida (MAZUCHOWSKI e RUCKER, 1996), há necessidade da conversão dos ervais puros para ervais sombreados

, ou pelo menos estabelecer um grau de sombreamento pela redução do grau de luminosidade natural (MACCARI e MAZUCHOWSKI, 2000).

Em sistemas complexos como os agroflorestais, é indubitável a importância da luminosidade e dos níveis nutricionais dos solos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente pela competição por luz e por nutrientes estabelecidos (TAIZ e ZEIGER, 2012).

Embora existam informações sobre a cultura, ainda são escassos os estudos referentes a melhor densidade de plantio de espécies florestais em ervais comerciais implantados e as reposições mais adequadas de nutrientes para exercer influência direta na produtividade da cultura principal.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os desenhos dos sistemas de produção dos ervais são elaborados conforme a estratégia do agricultor para obter a produção agrícola e madeireira. Muitas vezes o aspecto regional, econômico e climático é determinante no arranjo e composição. A composição de espécies tem provocado redução do rendimento dos cultivos devido à competição por luz e nutrientes, sendo fundamental planejar a escolha de espaçamento e formular o aporte nutricional adequado.

A tecnologia agroflorestal significa uma inovação ou melhoramento, através de uma intervenção científica que pode ser aplicada com vantagens no manejo de um sistema ou de uma prática (NAIR, 1989).

Estudos necessitam ser desenvolvidos ou lapidados visando a melhoria da integração entre a pesquisa – extensão - produção. Existe pouca difusão de tecnologia ao alcance do produtor ervateiro.

1.3 HIPÓTESE

Duas hipóteses foram levantadas:

- a) O manejo da luminosidade aparente no erval incrementa o crescimento e a produtividade da erva-mate;
- b) O uso de adubação mineral potencializa o crescimento e a produtividade da erva-mate em sistema agroflorestal.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar a produtividade da erva-mate através das condições de biomassa e crescimento pelo método de atributos dendrométricos submetida à diferentes luminosidades e adubação.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Quantificar e estimar a área foliar da erva-mate;
- Correlacionar o peso úmido e seco das folhas de erva-mate;
- Medir e determinar possíveis variações do diâmetro da copa e altura da erva-mate em função da luminosidade e adubação;
- Inferir a produção média comercial de erva-mate durante o período avaliado.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA DO SISTEMA AGROFLORESTAL (SAF'S)

2.1.1 Definição

O termo sistema agroflorestal na literatura não se atem somente à mercadoria, tem como base de demarcação e definição os aspectos biológicos, técnicos, econômicos e sociais (NAIR, 1989). Ainda, um sistema agroflorestal pode ser considerado um tipo de sistema de uso da terra que é específico de uma localidade e descrito de acordo com sua composição biológica e arranjo, nível técnico de manejo, ou características socioeconômicas (YOUNG, 1991; RAIN TREE, 1987).

Na conceituação SAF é uma denominação coletiva para sistemas e tecnologias de uso de terra, onde lenhosas perenes são deliberadamente usadas em manejo combinado com cultivos agrícolas anuais ou perenes e/ou animais, em alguma forma de arranjo espacial ou em sequência temporal (NAIR, 1993).

Nos primeiros levantamentos realizados na região Sul do Brasil, Montoya e Mazuchowski (1994) constataram a existência de diferentes sistemas silvipastoris em uso, principalmente, em pequenas e médias propriedades rurais. Entre as associações de pastagens com plantações de espécies nativas identificadas, merecem destaque os sistemas com a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) e a erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), além do sistema mais antigo denominado "faxinal".

Segundo registros de Montoya e Mazuchowski (1994), o início das atividades de pesquisa com sistemas agroflorestais na região Sul ocorreu no ano de 1980.

Para uma padronização estruturalmente e com base na natureza dos componentes dos SAF's e inferidos por (MAC DICKEN e VERGARA, 1990; NAIR, 1990; NAIR, 1993), Daniel *et al.* (1999) propõem a seguinte terminologia:

- Sistemas Agrissilviculturais - envolvem cultivos agrícolas e árvores, incluindo arbustos e (ou) trepadeiras;

- Sistemas Silvipastoris - referem-se à associação de pastagens e (ou) animais e árvores;

- Sistemas Agrissilvipastoris - combinam cultivos agrícolas, pastagens e/ou animais e árvores. Em qualquer um desses sistemas a integração de seus componentes poderão se dar de forma simultânea ou seqüencial e em uma infinidade de combinações possíveis.

O sistema agroflorestal, conceituado na literatura como Agrissilviculturais (GHOLZ, 1987; SINCLAIR, 1999; DANIEL *et al.*, 1999; BALBINO *et al.*, 2011), são sistemas muito mais complexos do que os sistemas consorciados anuais, porque existem grandes diferenças na natureza e disposição dos componentes.

2.1.2 Importância

Sá (1994) cita vários autores que apontam que os sistemas agroflorestais apresentam capacidade potencial para aumentar o nível de sustentabilidade do agroecossistema, quanto aos aspectos agronômicos, sociais, econômicos e ecológicos, representando uma alternativa ecologicamente correta de produção, e sua utilização permite ao agricultor um melhor aproveitamento do espaço de sua propriedade, possibilitando ainda a obtenção sustentável de produtos, em consoante com a legislação vigente.

A diversidade de opções de manejo da terra para a produção de renda e protegendo valores de recursos naturais é o aspecto mais importante dos sistemas agroflorestais (WORKMAN *et al.*, 2002).

Ainda Workman *et al.* (2002) argumenta que sistema agroflorestal tem o potencial de melhorar a diversidade, qualidade e, em alguns casos aumentar o rendimento das culturas. Estas melhorias podem aumentar os fluxos de caixa e fornecer bom retorno para o trabalho investido e atender as necessidades de recursos essenciais de alimentação, medicina, madeira, combustível, forragem e de mercado de commodities, e fornece serviços ambientais valiosos. (GARRITY, 2004 e ZOMER, 2014).

Oliveira (2000) evoca que os sistemas agroflorestais, além de se apresentarem como formas de sustentabilidade, propiciam também a manutenção da

biodiversidade da comunidade edáfica, além de proteger e melhorar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, fator primordial para o crescimento, desenvolvimento e produção das plantas.

Os SAFs podem assegurar processos produtivos efetivos e menos impactantes, em sintonia com a conservação dos recursos disponíveis, e atingir um padrão de eficiência socioambiental desejável (SILVA, 2013).

2.1.3 Princípios de Interação em Sistema Agroflorestal

Os sistemas agroflorestais são combinações permanentes, com elevado grau de biodiversidade, com estruturação vertical e horizontal muito próxima à estrutura de uma floresta nativa (NAIR, 1993).

Huxley (1999) aponta proposição dos mais variados benefícios pela integração de cultivos de árvores com culturas agrícolas em mesma unidade.

Os SAF podem ser divididos distintamente com base estrutural, funcional, socioeconômica e ecológica.

O critério estrutural é denominado pela composição, incluindo a mistura dos elementos lenhosos, a estratificação vertical e o arranjo temporal dos diferentes componentes (NAIR, 1999a). As interações nesses sistemas são contínuas e não sazonais como em sistemas anuais, e as interações são, em grande parte determinada pelo componente de árvore (RAO *et al.*, 1998).

Esta interação é definida como o efeito de um componente de um sistema no desempenho de um outro componente e/ou no sistema geral (NAIR, 1993). A interação pode ter efeito positivo (favorecimento), neutro, ou negativo (competição), e depende de diversos fatores ecológicos, incluindo variações no arranjo. Pode oscilar do favorecimento à competição, e vice-versa, com estágios interativos coexistindo no tempo e espaço (CALLAWAY e WALKER, 1997).

Segundo Sanchez (1995) os sistemas agroflorestais são classificados em dois grupos:

- a) Sistemas simultâneos, em que as árvores e as culturas agrícolas são cultivadas em conjunto em diferentes arranjos espaciais;
- b) Sistemas sequenciais, em que as árvores e culturas são cultivadas em rotação

Nos sistemas simultâneos, segundo a distribuição dos componentes na superfície plantada divide-se em sistema misto, zonal, misto e complementar. O sistemas contínuo apresenta distribuição contínuo ou mista em toda a superfície plantada, com elevada interação entre os componentes. Ocorre em regiões onde se pratica cultivos sombreados, com árvores-sombra especializadas de forma contínua (SILVA, 2013).

2.1.4 Componentes para Sistema Agroflorestal

A conversão das formas monoculturais de uso da terra para policulturais, em especial introduzindo o componente arbóreo deve ser entendida como um processo de “modificação” do padrão vigente de uso das terras, onde a “novidade” (árvore) pode afetar seus arredores pela modificação do ambiente, conforme o princípio de “resposta e efeito” que estabelece que plantas e ambiente modificam-se mutuamente de modo que permita a mudança gradativa (transição amena) de um paradigma produtivo para outro, ambientalmente mais ajustado e mais complexo (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2013).

De acordo com Lopes e Garcia (2002), a vantagem de consorciar culturas agrícolas com uma cultura florestal está em se explorar níveis mais profundos do solo e em solos de baixa fertilidade pode representar maior capacidade de uso dos nutrientes, sendo que estes, quando incorporados à biomassa e devolvidos ao solo, via serapilheira, podem ser reabsorvidos por aquelas plantas cujas raízes nem sempre teriam capacidade de retirá-los das camadas mais profundas (COELHO, 2006).

A natureza perene das árvores implica num investimento com longo prazo para obtenção dos retornos esperados, de modo que o erro na escolha do componente arbóreo pode implicar em frustrações e prejuízos econômicos muito grandes (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2013).

A escolha dos componentes no sistema agroflorestal deve levar em consideração diversos aspectos, como: integração entre as espécies, sustentabilidade econômica, impacto sobre a mão de obra local, variedades de plantas utilizadas, tratos culturais, logística de transporte, finalidade da produção e

principalmente as características das plantas em relação ao melhor aproveitamento da radiação solar, da água e dos nutrientes (CARVALHO, 2006).

O INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY (1986) sugere alguns padrões de associações entre eles: faixas de clareiras na mata primária ou secundária em intervalos convenientes, bem como o plantio de espécies tolerantes ao sombreamento. Duas culturas globalmente importante, o café (*Coffea arabica*) e cacau (*Theobroma cacao*), são comumente gerenciados usando sistemas agroflorestais em todo trópico. No cenário de floresta natural, erva-mate, café e cacau são as árvores intermediárias e que toleraram sombra parcial. No entanto, quando estas espécies são cultivadas a uma escala industrial, são muitas vezes plantadas em monoculturas a pleno sol.

Em sistemas complexos como os Sistemas Agroflorestais a importância da luminosidade, temperatura e umidade do ar e do solo sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de erva-mate, principalmente pela competição por luz que se estabelece no ambiente (LEMOS FILHO, 2000).

Entre os fatores abióticos que limitam a produtividade das plantas, destacam-se os altos níveis de radiação solar incidente. O aumento excessivo da luz acima da capacidade de utilização pela fotossíntese pode resultar em uma condição de estresse conhecida como fotoinibição. A quantidade de energia radiante que atinge o complexo coletor de luz dos fotossistemas pode conduzir a um ganho ou perda na eficiência das reações fotoquímicas dos centros de reação (LEMOS FILHO, 2000).

Por outro lado o crescimento de caules e folhas pode ser severamente limitado se ocorrer sombreamento excessivo por outras plantas mesmo porque ocorrerá também uma variação na temperatura do solo (GLIESSMANN, 2000).

A forma como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada e absorvida pelas plantas, é o fator determinante da taxa fotossintética, podendo limitar a produção e o acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento (PILAU, 2005). Assim, fatores como forma, densidade populacional e espaçamento entre linhas, afetam a distribuição da área foliar no dossel (STEWART *et al.*, 2003).

Prodan *et al.* (1997) entendem por crescimento o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta em determinado período de tempo, o qual é influenciado pelas características da espécie em interação com o ambiente. Tais dimensões podem ser o diâmetro, a altura, o volume, a biomassa, a área basal, etc.

Segundo Bulhões (2011), a complexidade dos sistemas agroflorestais está relacionada ao fato de utilizar diversas espécies, possuir diferentes estratos e objetivos de manejo. Portanto, é necessário conhecer cada espécie, bem como o relacionamento entre essas espécies, refletindo na necessidade de conhecer a nutrição, relações ecológicas, processos de alelopatia, luminosidade, densidades e outras questões relacionadas ao manejo.

Atualmente, no estado do Paraná as espécies florestais do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia*, além da grevilea (*Grevillea robusta*), são as que representam a maior parte da ocorrência nos sistemas silvipastoris, notadamente em regiões que apresentam solos mais suscetíveis à erosão. Os eucaliptos são usados principalmente como fonte de energia (lenha) e estacas para cerca e a grevilea com uma finalidade mais nobre, ou seja, madeira para serraria (RADOMSKI e RIBASKI, 2011).

2.1.5 Classificação e Características *Eucalypto grandis* Hill ex Maiden

Ocorre naturalmente na Austrália, pertencem à família das Mirtáceas, ocorrem em áreas de altitude (300 a 900 m). A precipitação pluviométrica varia de 1.000 a 1.700 mm, predominantemente no verão (FERREIRA, 1979). A cultura do eucalipto ganhou destaque no Brasil, a planta se adaptou muito bem no nosso clima e no nosso solo, e atualmente produz uma árvore em até 7 anos, enquanto que na Europa ela gasta mais de 20 anos para chegar à idade de corte (BERTOLA, 2000). Ainda, Bertola (2000) é uma das espécies mais plantadas no mundo, considerada uma das espécies mais versáteis e indicadas para uso múltiplo.

- É considerada sensível a geadas severas;
- Apresenta relativa resistência a deficiência hídrica;
- Em solos pobres e, principalmente, deficientes de boro, há alta incidência de bifurcações e seca de ponteiros;
- A madeira é considerada moderadamente leve, com cerne diferenciado;
- A regeneração, através da brotação de cepas, é considerada boa;

- O ritmo de crescimento e o rendimento volumétrico são, geralmente, superiores, quando comparados a outras espécies convencionais. (BERTOLA, 2000)

2.1.6 Histórico, Classificação e Produção da Erva-Mate

Segundo Souza (1969), a origem do chimarrão, está nos primeiros achados da erva-mate e datam de mil anos antes de Cristo, ela era moída com outros objetos em oferendas para os mortos, no Peru. Os índios guaranis que habitavam a região das bacias dos rios Paraguai, Uruguai e Paraná faziam o uso da erva para preparar uma bebida estimulante que se chamava kaay que significa em guarani água de folha. As folhas da erva eram colocadas em uma cuia com água e o líquido era chupado por uma taquara ou osso, que se chamava *tacupapi*.

A erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil. é uma espécie de folhas perenes que tem entre três a cinco metros de altura quando adulta em plantio manejados e em condições de floresta pode atingir até 25 metros de altura, com tronco curto de 30-40 cm de diâmetro e folhas coriáceas, de 8-10 cm de comprimento por 3-4 cm de largura. (LORENZI, 1992). A estrutura da planta responde diretamente às condições ambientais tais como intensidade luminosa e teores de nutrientes, podendo em resposta alterar sua morfologia e, conseqüentemente, seus processos fisiológicos (FOSSATI, 1997).

Pertencente da florestal ombrófila mista montana, crescendo preferentemente em associações mais evoluídas dos pinheirais de *Araucária angustifolia*, acompanhada de outras espécies como imbuia (*Ocotea porosa*), pau-marfim (*Cedrela fissilis*), pinho bravo (*Podocarpus sp*) canjarana (*Cabralea canjerana*), além de Mirtáceas, Leguminosas diversas e Lauráceas (OLIVEIRA e ROTTA, 1985).

A erva-mate é caracterizada como clímax, também conhecidas como secundárias tardia. É de crescimento lento e necessitam de sombreamento para seu bom desenvolvimento e possuem ciclo de vida longa. Nos sistemas naturais, são as plantas que se desenvolvem quando a floresta primária já está formada (LORENZI, 2002).

Por ser uma planta esciófila (tolerantes), regeneram-se na sombra do povoamento e, sob certas condições, conseguem manter-se na sombra durante toda

a vida. Precisam de sombra, pelo menos, durante o período juvenil. Em geral, sua produção de sementes não é elevada. Ao contrário das pioneiras, que necessitam de luz para se desenvolverem, as espécies esciófilas podem sobreviver no interior da floresta durante décadas sem crescer, praticamente. Neste compasso de espera, elas preservam sua capacidade de reagir ao crescimento a qualquer melhoria nas condições de luminosidade (CARVALHO, 2003; LAMPRECHT, 1990).

De acordo com a classificação taxonômica, a erva-mate integra o reino Plantae na divisão Magnoliophyta, classe Rosidae e da família Aquifoliaceas e do gênero *Ilex* L (CRONQUIST, 1981).

A área de distribuição natural da erva-mate, segundo Oliveira e Rotta (1983), abrange, aproximadamente, 540.000 km², cerca de 3% do território da América do Sul, compreendendo áreas do Brasil, Argentina e Paraguai, situadas entre as latitudes de 21°S a 30°S e longitudes de 48°30'W a 56°10'W (Figura 1.1).

Cresce preferencialmente em altitudes compreendidas entre 500 e 1.500 m, podendo ocorrer em regiões situadas fora desses limites, porém de maneira mais esparsa. As condições edafo-climáticas adequadas para o desenvolvimento da espécie, segundo a classificação climática descrita por Köppen, encontram-se nos tipos climáticos Cfb, seguido pelo Cfa.

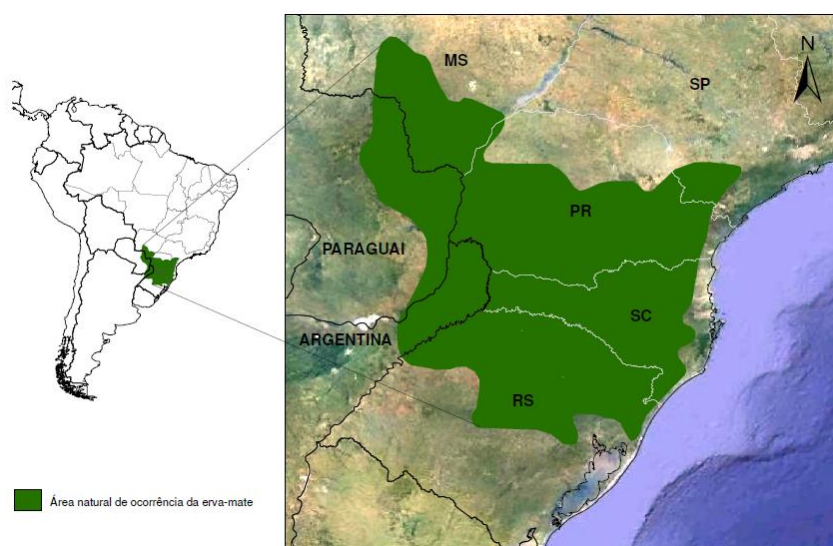


FIGURA 1.1 - ÁREA DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ERVA-MATE
FONTE: OLIVEIRA E ROTTA (1983) adaptado, imagem do GOOGLE EARTH ROSSA(2013)

Mundialmente a produção de erva-mate está presente, Brasil com 860 mil toneladas de erva-mate verde, IBGE (2013) na Argentina com 690 mil toneladas de erva-mate verde (INYM – Instituto Nacional do Mate, 2013), e Paraguai 85 mil toneladas (MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária, 2013). Sendo assim, a erva-mate é uma das atividades não madeireiras que compõe o mercado agroflorestal brasileiro.

No Brasil, de acordo com IBGE (2013), foram produzidas 515.451 toneladas de erva-mate verde numa área colhida de 67.397 hectares, resultando numa produtividade média de 7.648 kg/ha. Segundo os dados da PAM, o principal responsável pela produção de ervais cultivados, ou a pleno sol é o Rio Grande do Sul, com 265 mil toneladas ou 52% do total, em seguida está o Paraná com 195 mil toneladas ou 38%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no município de Guarapuava-PR, em um sistema agroflorestal de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) com eucalipto (*Eucalypto grandis* Hill (ex Maiden), localizado na Fazenda São José (Figura 1.2), a 25° 23' 36" de latitude sul, 51°27'19" de longitude oeste, 1110 m s.n.m. de altitude e distância de 286 km de Curitiba.

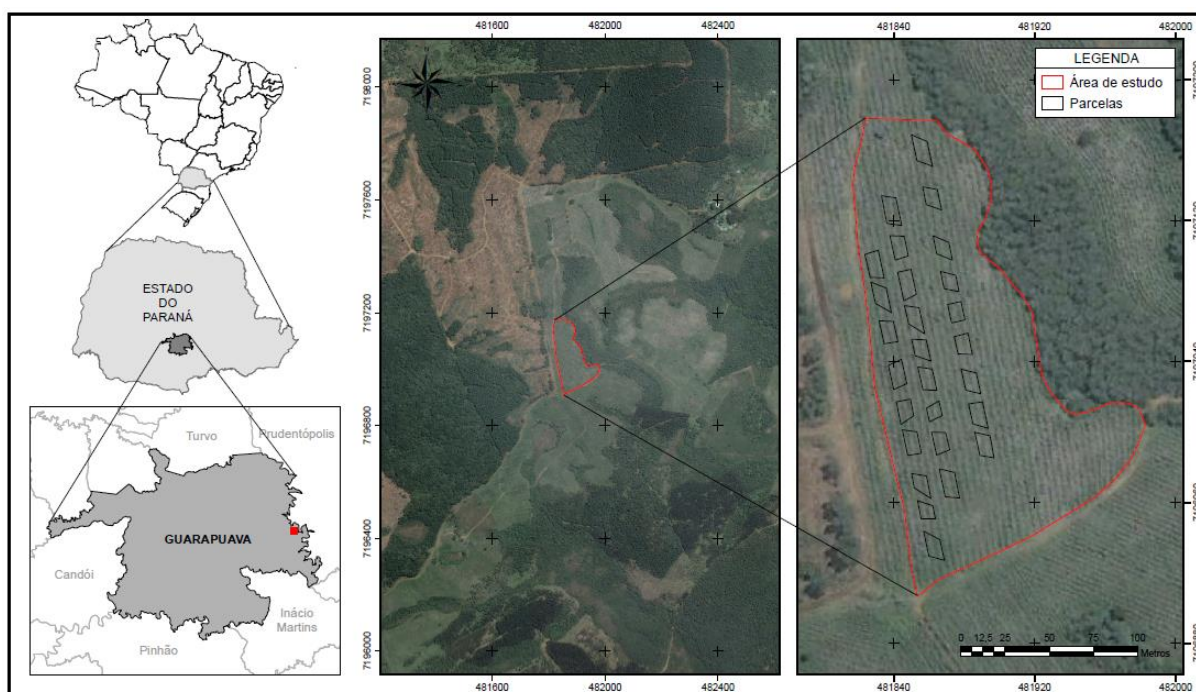


FIGURA 1.2 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA
 FONTE: GOOGLE EARTH (2013), adaptado por ROSSA (2013)

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA

Na Fazenda São Jose as mudas de erva-mate do sistema agroflorestal, originalmente foram plantadas a pleno sol, no decorrer dos últimos 30 anos e vem sendo implantando desde o ano de 2000 o sistema de plantio de erva-

mate com eucalipto com a assistência técnica da Embrapa Florestas, IAPAR e UFPR (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2002 implantou-se SAF de erva-mate com eucalipto e feijão. A implantação deste sistema nos ervais de 10 anos de idade com plantio intercalar de eucalipto foi gradual. As mudas de eucalipto foram produzidas no viveiro florestal da empresa SCHIER, com sementes de matrizes do material genético da propriedade. Não foi efetuada adubação na cova e nem de cobertura nos anos posteriores à implantação. O corte da erva-mate é realizado anualmente, nos meses de maio a agosto, obtendo-se uma produtividade média por árvore de 5 quilogramas de folhas de erva-mate verde a cada ano (TETTO *et al.*, 2009).

O plantio de eucalipto foi realizado na linha da erva-mate visando facilitar os tratos culturais do SAF, bem como, as futuras retiradas de árvores manejadas dentro do erval, com o intuito de manter o processo de manejo da sombra. Efetuou-se adubação no plantio a base de 50 gramas de fosfato natural reativo por árvore. A espécie de eucalipto utilizada foi o *Eucalipto grandis* Hill (ex Maiden). Após o 1º ano, efetuou-se anualmente a desrama de forma a deixar uma altura de até 3 metros sem ramos sobre as erva-mates (TETTO *et al.*, 2009).

O espaçamento original do eucalipto foi de 4 x 1,5 metros (cerca de 1.700 plantas por hectare no ano de instalação), com cortes parciais aos 2 e 3 anos, reduzindo 67% da população original. No 4º ano modificou-se o espaçamento passando para 4 metros entre árvores na linha e 6 metros entre ruas, totalizando 416 plantas/ha (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2010 o pesquisador Rossa (2013) alterou os espaçamentos dos eucaliptos, com 6 anos, modificando de duas maneiras: a primeira com 10 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 125 plantas/ha e a segunda com 20 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 63 plantas/ha. Esse novo desenho do sistema agroflorestal foi conduzido com adubação e avaliado durante os anos de 2011 e 2012. Os resultados desse período foram utilizados na pesquisa sob estudo para a composição dos resultados.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A análise de aspectos litoestratigráficos da área revela rochas ígneas da Formação Serra Geral e na Formação Botucatu, ambas do Grupo São Bento,

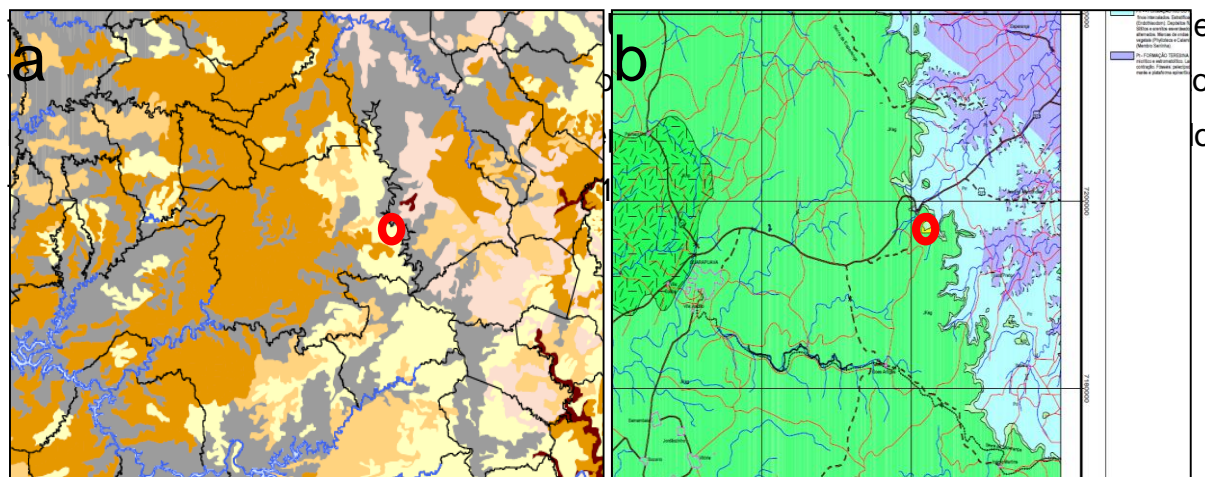


FIGURA 1.3 – MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

Segundo classificação climática de Köppen (IAPAR, 1994), na área experimental ocorre clima subtropical úmido, mesotérmico (FIGURA 1.3a), com média do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca, verão brando, geadas severas demasiadamente frequentes.

A vegetação original da área é composta pela Floresta Ombrófila Mista (FOM) chamada popularmente de Mata com Araucárias, ou ainda pinhal (GUERRA *et al.*, 2002), por ter como constituinte principal a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze que, pelo seu porte e densidade se destaca das demais espécies na formação. Os limites altimétricos das formações da FOM no sul do Brasil determinam sua classificação em Altomontana. Segundo IBGE (1992), a formação Altomontana inclui tipologias que ocorrem acima de 1.000 m s.n.m, caso da área experimental do presente estudo que está situada na faixa de Floresta Ombrófila Mista Altomontana (FIGURA 1.4b), existindo a presença de remanescentes de vegetação em estágio de desenvolvimento regenerativo secundário.

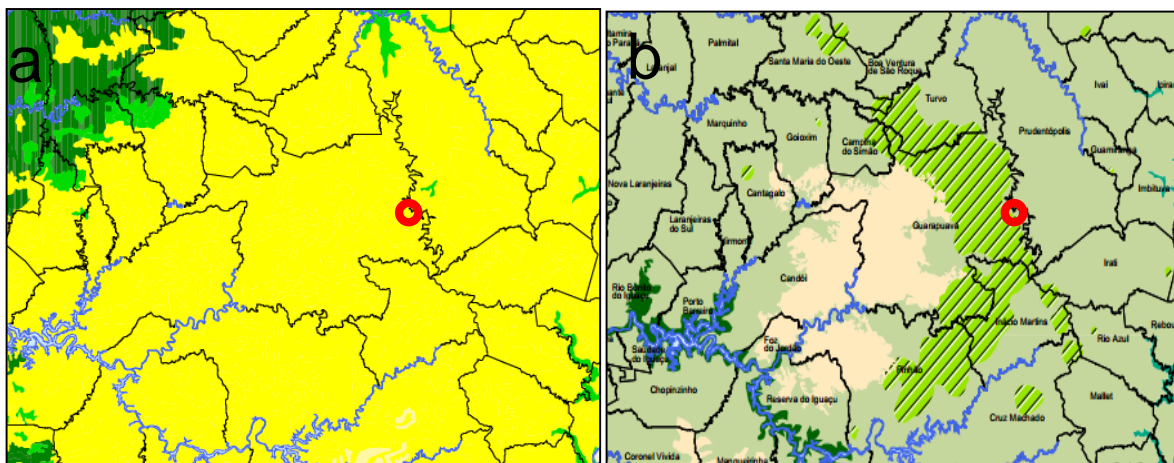


FIGURA 1.4 – MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

3.4 SOLO

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Álico típico pouco profundo textura argilosa (de 80-100 é muito argilosa) cascalhenta A proeminente (EMBRAPA, 2006). O mapeamento parcial é apresentado na FIGURA 1.3 a, enquanto suas características químicas e físicas, em 5 diferentes profundidades são apresentadas nas Tabelas 1.1 e 1.2, respectivamente.

TABELA 1.1 – DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Prof. (cm)	pH		Al^+ 3	$H^+ + Al^{+3}$	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	SB	T	P	C	V	m
	CaCl ₂	SM P	----- cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
0 – 20	4,24	4,79	2,0	14,57	2,3	1,6	0,09	3,96	18,53	1,9	42,1	21	34
20 – 40	3,94	4,54	3,9	18,17	1,1	0,6	0,07	1,76	19,92	5,2	39,8	9	69
40 – 60	4,08	4,86	2,2	11,60	0,1	0,1	0,02	0,26	11,85	1,2	19,4	2	89
60 – 80	4,15	5,24	1,2	8,74	0,1	0,0	0,01	0,07	8,81	0,3	12,7	1	95
80 – 110	4,41	5,32	0,3	8,24	0,8	0,0	0,01	0,84	9,07	0,2	14,0	9	25

FONTE : Rossa (2013)

A saturação por bases do solo (V) é baixa sendo um solo epidistrófico (ele é distrófico apenas no A e álico nos demais horizontes), sendo bastante ácidos e de fertilidade baixa. Com saturação por alumínio do solo (M) alta (álico) pobre em cálcio com alto teor de alumínio (MALAVOLTA, 2006).

TABELA 1.2 – TEXTURA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia fina	Argila	Silte
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 – 20	73	74	600	253
20 – 40	74	95	580	251
40 – 60	94	73	600	233
60 – 80	118	70	560	252
80 – 110	48	48	700	204

FONTE: Rossa (2013)

3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

3.5.1 Luminosidade Aparente

As determinações de iluminância (NBR ISO/CIE 8995- ABNT) foram efetuadas com a utilização do aparelho luxímetro digital portátil 0 a 200.000 Lux.

Para calcular o índice de luminosidade aparente mediu-se a intensidade de luz a campo aberto, mantendo o luxímetro no plano horizontal a uma altura aproximada 2 metros, relacionando com a intensidade lumínica de cada parcela, para definição das faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30% correspondente a iluminância observada no campo aberto.

Para estabelecimento das faixas de intensidade de luz de cada parcela registrou-se com o luxímetro na face norte da parte superior da copa das 10 plantas úteis de erva-mate nos horários das 9, 12 e 15 horas, durante 3 dias consecutivos.

A partir da observação de iluminancia máxima nas parcelas sem eucaliptos - faixa média de 60% - foi estabelecido as faixas de menor intensidade de luz de 45 e 30%, nas parcelas com eucalipto. Foram realizadas podas nos eucaliptos durante o período de realização do experimento para manutenção dos níveis de intensidade de luminosidade aparente pré estabelecidas de 45% e 30%.

As leituras de intensidade de luz foram realizadas na primeira semana imediatamente após o início de cada estação do ano (verão, outono, inverno, primavera).

Os dados de iluminância levantados referem-se à intensidade de luz difusa média existente em cada parcela, estabelecendo-se as faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30%, medindo-se a Iluminância em Lux (Lx) - que equivale a 1 lúmen por metro quadrado - considerando-se a média da iluminância detectada durante as estações de primavera, verão, outono e inverno nos anos de 2011 a 2015.

3.5.2 Adubação

As erveiras foram adubadas quimicamente com adubo convencional de pronta solubilidade e adubo de liberação controlada com diferentes formulações, conforme segue QUADRO 1.1.

	Convencional ¹	Liberação Controlada ²
Ano	2011/ 2012/ 2013/2014/2015	2011/ 2012/ 2013/2014/2015
Formulação	15% de N; 05% de P ₂ O ₅ e 30% de K ₂ O	15% de N, 8% de P ₂ O ₅ e 12% de K ₂ O

QUADRO 1.1- PERÍODO E FORMULAÇÃO

¹Marca Nitrobrás

²Marca Basacote

No período de 2011 a 2015 as erveiras foram adubadas em duas diferentes tecnologias. A adubação convencional de pronta solubilidade foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em duas vezes por ano (setembro e dezembro), totalizando 10 aplicações. A dosagem foi de 100g por árvore de erva-mate para cada aplicação, na formulação 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O. A dose seguiu recomendação técnica dos fabricantes, sendo utilizado a metodologia de arruação circular de 20cm na projeção das copas (FIGURA 1.5).

A adubação de liberação controlada foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em uma vez por ano (setembro), totalizando 5 aplicações. A dosagem foi de 30g por árvore de erva mate para cada aplicação, na formulação 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O, sendo utilizado a metodologia de 3 covas de 20 cm de profundidade, abertas na projeção da copa (FIGURA 1.6).



FIGURA 1.5 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)



FIGURA 1.6 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O esquema experimental utilizado foi blocos casualizados, com 9 tratamentos nos blocos em 3 repetições, totalizando 27 parcelas de 180m² em média, com 10 plantas úteis de erva-mate por parcela e bordadura dupla de aproximadamente de 20 metros.

Os tratamentos foram constituídos de maneira a representar o sistema agroflorestal contínuo, por estarem em alinhamento, onde o componente arbóreo eucalipto entrou com função de produzir sombra, sendo correspondente a 45% e 30% da intensidade a campo aberto. Nas erveiras sem o componente arbóreo eucalipto, a iluminância foi correspondente a 60% da intensidade a campo aberto.

Os tratamentos com a faixas de luminosidades foram combinados com diferentes adubações, tendo sem adubação nas erveiras NA, com adubação mineral convencional de pronta solubilização AC e adubação mineral de liberação controlada ALC.

Desta maneira os tratamentos foram:

T1- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T2- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O;

T3- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O.

A configuração das parcelas T1, T2 e T3 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.7).

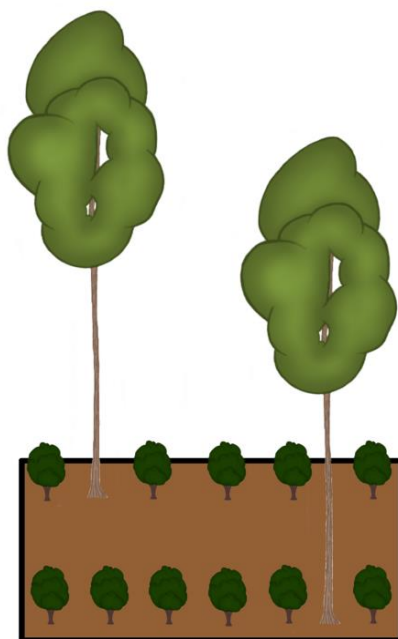


FIGURA 1.7 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3
FONTE: Autor, 2016

T4- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T5- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P_2O_5 e 30% de K_2O ;

T6- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O ;

A configuração das parcelas T4, T5 e T6 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.8).

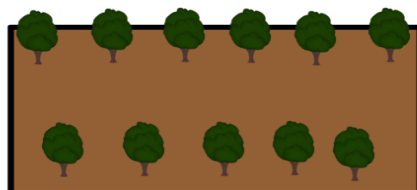


FIGURA 1.8 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T4, T5 E T6
FONTE: Autor, 2016

T7- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T8- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P_2O_5 e 30% de K_2O ;

T9- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O .

A configuração das parcelas T7, T8 e T9 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.9).

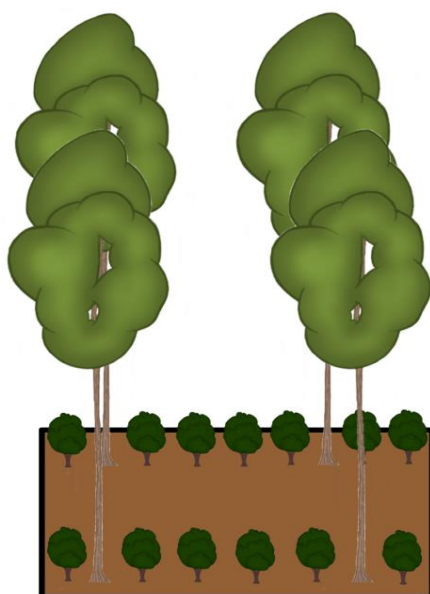


FIGURA 1.9 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9
FONTE: Autor, 2016

A seleção das plantas úteis de cada parcela foi definida pela fórmula de Steel (STEEL; TORRIE, 1960), resultando 10 plantas dominantes por parcela, dentre as 20 plantas passíveis de utilização. No croqui da Figura 1.10 é possível verificar o esquema de distribuição dos blocos e tratamentos. Além da configuração da bordadura de cada tratamento e bloco. Para a avaliação da produtividade das erva-mates todas as 10 plantas úteis de cada parcela foram consideradas.

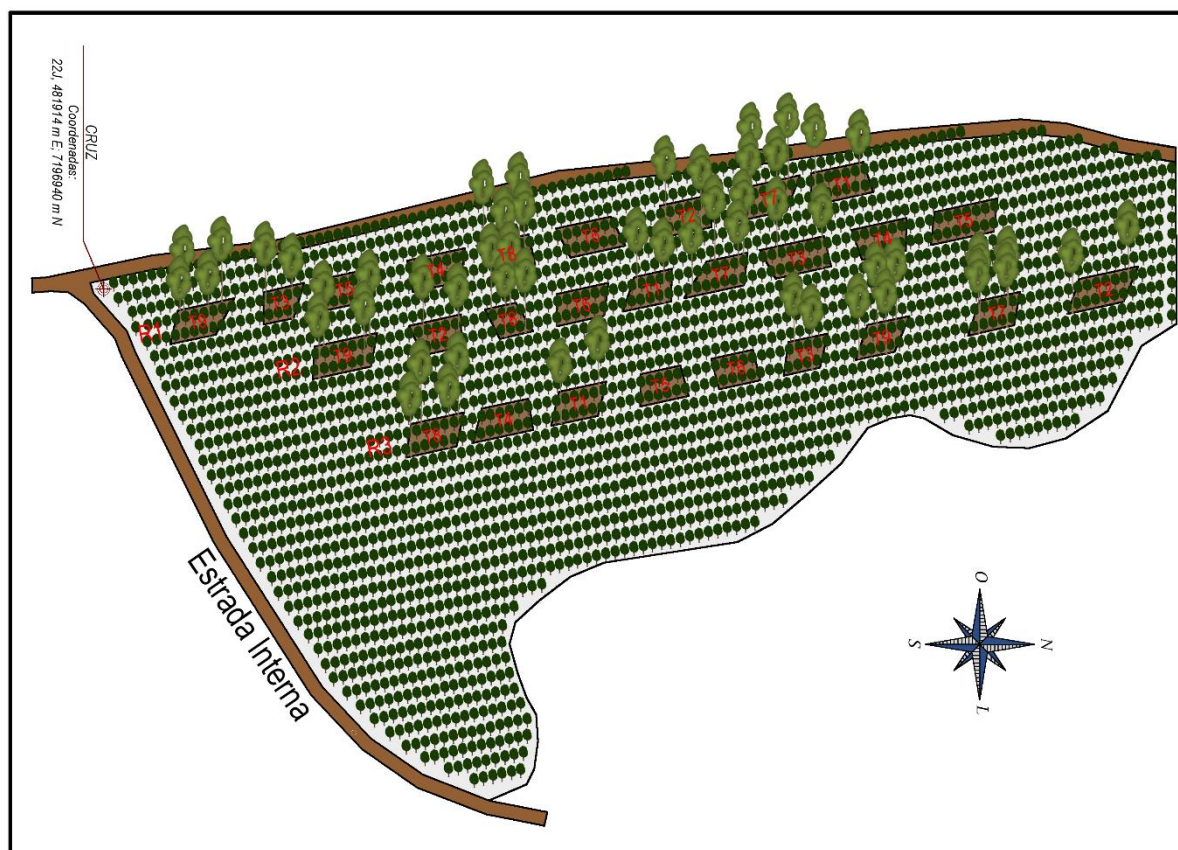


FIGURA 1.10 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO
 FONTE: Autor, 2016

As plantas da área útil foram etiquetadas, sendo consideradas individualmente para a coleta de dados nos blocos e tratamentos. A pesquisa foi conduzida durante 5 anos, contados a partir de 2011 até 2015.

3.7 LEVANTAMENTO DENDROMÉTRICO

Para caracterizar a produtividade da erva-mate, durante cinco estações de poda da erva-mate na safra de julho de 2011/2012/2013/2014 e 2015, foram mensuradas as seguintes variáveis:

- a) Altura da erva-mate medida em metros (m), correspondente ao início da saia da copa até a emissão de ramos de maior altura das 10 plantas úteis de cada parcela;
- b) O diâmetro da copa foi estabelecido através das médias da metragem paralela e perpendicular das copas das 10 plantas úteis de cada parcela

c) A área foliar foi calculada a partir da imagem digitalizada, obtida em Scanner de mesa, com o programa Imagej (BAILER, 2006). Utilizaram-se 100 folhas frescas de erva-mate de cada planta, que foram coletadas do terço superior, médio e inferior da copa, conforme Oliveira (2001), para captura de imagem e cálculo de área foliar média em cm²;

d) O peso úmido foi determinado utilizando-se balança de mesa de precisão milesimal, das mesmas 100 folhas por árvore da análise de área foliar. Posteriormente, essas amostras foram secadas em estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 62° C, até obtenção do peso constante, seguido de nova determinação de peso seco. A relação peso seco e peso úmido foi determinado pela divisão simples, perfazendo-se o índice PU/PS;

e) O peso da biomassa comercial foi determinado durante a poda e com auxílio de uma balança digital pendular com precisão de 25 g afixada em suporte de madeira de 2,10 m de altura, sendo considerada a somatória de folhas e ramos finos com diâmetro médio inferior a 1 cm das 10 plantas uteis de cada parcela. Retirou-se em torno de 70% das folhas de cada árvore, deixando-se o restante dos galhos e folhas para manter a estrutura da árvore e acelerar a recuperação. Para a poda utilizou-se material apropriado, tal como “ponchos”, tesouras de poda, podão para alcançar as partes altas das árvores e serrote para os galhos.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados em delineamento em blocos completos ao acaso, utilizando modelos mistos, sendo os tipos de adubação (NA, AC, ALC), níveis de luminosidade (60%, 45% e 30%) e suas interações considerados como efeito fixo e os anos, bloco e o resíduo como efeito aleatório, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + T_j + b_k + p_l + (ST)_{ij} + e_{ijkl} ,$$

onde:

Y_{ijl} = valor observado na parcela que recebeu o tipo de adubo i, o nível de luminosidade j, no ano l;

μ = efeito geral da média;

S_i = efeito fixo do tipo de adubo i;

T_j = efeito fixo do nível de luminosidade j;

b_k = efeito aleatório do bloco k;

p_l = efeito aleatório do ano l;

$(ST)_{ij}$ = interação entre o tipo de adubo i e o nível de luminosidade j;

e_{ijkl} = erro aleatório da parcela que recebeu o tipo de adubo i, o nível de luminosidade j, ano l, bloco k;

A estrutura de covariância foi estimada pelo método da máxima verossimilhança restrita.

Quando observado efeito significativo dos fatores do modelo sobre as variáveis dependentes, as médias foram comparadas pelo teste de Student ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

Na TABELA 1.3 a área foliar de 100 folhas teve interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores luminosidade e adubação. A área foliar teve valor máximo ($3.287,42 \text{ cm}^2$) na faixa de luminosidade de 45%, sofrendo decréscimo ($2.116,79 \text{ cm}^2$) em nível mais alto de luz (60%), mesmo sendo adubado com ALC e AC. As copas da erva-mate localizada em cada parcela, recebem na maioria do tempo em seu dossel, radiação solar difusa, devido a interceptação da radiação solar direta pela estrutura do dossel e o ângulo zenital influenciarem a penetração e reflexão da radiação para o interior do dossel (SPOLADOR *et al.*, 2006).

TABELA 1.3 AVALIAÇÃO DA ÁREA FOLIAR DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO CONVENCIONAL

TRATAMENTOS ²	ÁREA FOLIAR DE 100 FOLHAS ³ (cm^2)			TESTE F ¹
	60%	45%	30%	
NA	3140,60 aA	3154,03 abA	2917,83 bB	0,0020*
AC	2853,18 bB	3287,42 Aa	3252,79 aA	CV% ⁴
ALC	2116,79 cC	3122,27 bB	3209,43 aA	26,97

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

Na luminosidade de 30% houve diferença estatística entre os tratamentos, AC e ALC os quais apresentaram maiores valores de área foliar, quando comparado com o tratamento NA. Na luminosidade 45% o comportamento foi diferente, os maiores valores foram para AC e NA, havendo diferença estatística com ALC. Já na luminosidade de 60% a diferença estatística foi determinada pela maior área foliar do NA, seguindo pelo AC e ALC, sugerindo que quando o solo tem menor disponibilidade de nutrientes a área foliar é aumentada para compensar (TAIZ e ZEIGER, 2012).

No tratamento NA o crescimento da área foliar foi maior na luminosidade 45% e 60% e 30% respectivamente. No tratamento com AC os maiores valores foram para

45%, 30% e 60% (TABELA 1.3). A estrutura da planta de erva-mate responde diretamente às condições ambientais, como intensidade luminosa e teores de nutrientes, podendo alterar sua morfologia e seus processos fisiológicos (FOSSATI, 1997).

A adubação influenciou o aumento da área foliar, na faixa de luminosidade de 45% e 30%, concordando com Larcher (1986), que a superfície de assimilação, representada pela área foliar, pode aumentar em função do melhor estado nutricional. No ALC houve um decréscimo da área foliar de 30%, 45% e 60% respectivamente (FIGURA 1.11).



FIGURA 1.11 – FOLHAS DE ERVA-MATE NAS DIFERENTES LUMINOSIDADES COM ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA (A) 60%, (B) 45% E (C) 30%

Plantas de ambientes sombreados geralmente alocam maior quantidade de biomassa nas folhas e possuem maior área foliar por unidade de massa (POORTER, 1999; LEE *et al.*, 2000). Por outro lado, plantas expostas à luz solar intensa investem em biomassa radicial, para compensar a perda de água por transpiração, e, devido às altas taxas fotossintéticas, produzem maior biomassa por unidade de área foliar e altas taxas de renovação das folhas (POORTER, 1999).

Na (FIGURA 1.12) as maiores folhas foram identificadas na faixa de luminosidade aparente 30%, 45% e 60% respectivamente, no tratamento não adubado.

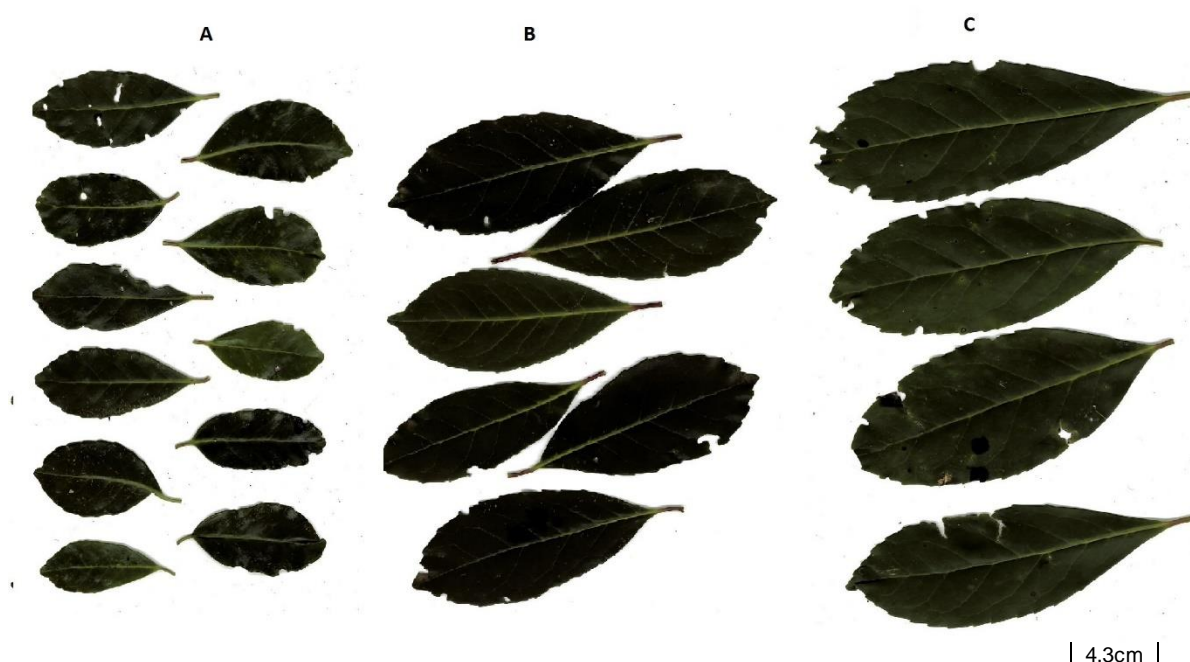


FIGURA 1.12 – FOLHAS DE ERVA-MATE NAS DIFERENTES LUMINOSIDADES SEM ADUBAÇÃO
(A) 60%, (B) 45% E (C) 30%

Folhas de sombra possuem uma área foliar maior, baixo peso específico e menos cloroplastos se comparadas com as folhas de sol, devido à redução da espessura do mesofilomais largas e maior quantidade de clorofila. As folhas de sol alcançam uma alta taxa fotossintética máxima, produzindo folhas mais espessas devido à formação de grandes células paliçádicas e/ou um aumento no número de camadas dessas células (LAMBERS *et al.*,1997).

Para a variável do peso seco de 100 folhas não houve interação significativa ($P < 0.05$) entre os fatores luminosidade e adubação. Houve efeito da adubação significativa no peso seco (TABELA 1.4).

TABELA 1.4 EFEITO DA ADUBAÇÃO NO PESO SECO DE 100 FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO

TRATAMENTOS ¹	PESO SECO DE 100 FOLHAS ² (g)
NA	39,39 b
AC	41,86 a
ALC	37,63 b
CV% ³	31,79

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(2) Dados 2011 à 2015

(3) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

O maior peso seco de 100 folhas (41,86 g) foi para o tratamento AC seguindo de NA e ALC. A adubação convencional promoveu um incremento maior nas ervaíras. Segundo MAZUCHOWSKI (2004), o peso seco das folhas de erva-mate, é um aspecto de alto interesse industrial.

Para a relação do peso úmido e seco de 100 folhas não houve interação significativa ($P < 0.05$) entre os fatores luminosidade e adubação, conforme segue (TABELA 1.5).

TABELA 1.5 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO PESO UMIDO/PESO SECO DAS 100 FOLHAS DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²	PESO UMIDO/PESO SECO ³ (m)			TESTE F ¹
	60%	45%	30%	
NA	2,60	2,50	2,68	ns
AC	2,67	2,44	2,53	CV% ⁴
ALC	2,51	2,52	2,76	23,06

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ns não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

Mesmo não havendo diferença significativa, observou-se pelos dados obtidos (TABELA 1.5) que a condição de menor luminosidade aparente 30%, favoreceu o incremento de 9,05 % da relação do PU/PS da biomassa foliar. Mostrando uma tendência de que quanto maior o sombreamento, maior o teor de água. Quando a intensidade de luz vai aumentando até atingir 100% da luz do dia, muitas espécies mostram um correlato aumento de crescimento em termos de acréscimo de matéria seca (GALVÃO, 1986).

Inoue e Torres (1980) observaram que, quanto maior o sombreamento, menor foi a produção de biomassa seca de mudas de pinheiro (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), sendo os maiores valores observados nas mudas a pleno sol. Essa observação foi coincidente com os resultados de Nakazono *et al.* (2001), desenvolvidos em trabalho sobre o crescimento do palmitreiro *Euterpe edulis* Mart. onde ocorreu a redução de biomassa seca.

Andrade (2004), também constatou a partir de seus estudos que o tratamento de menor luminosidade obteve o menor peso de matéria seca.

Para a variável diâmetro de copa não houve interação significativa ($P < 0.05$) entre os fatores luminosidade e adubação (TABELA 1.6).

TABELA 1.6 AVALIAÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²	DIÂMETRO DE COPA ³ (m)			TESTE F ¹
	60%	45%	30%	
NA	1,68	1,80	1,65	ns
AC	1,65	1,63	1,61	CV% ⁴
ALC	1,68	1,71	1,52	31,10

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor

O diâmetro de copa mostrou-se menos sensível às variações da adubação, não apresentando nenhuma diferença significativa. Observa-se o maior valor (1,80 m) para luminosidade 45% quando comparado com o menor valor (1,52 m) para luminosidade 30%.

As copas das árvores são modificadas pela competição, principalmente por luz e pelo efeito do vento (TONINI; ARCO-VERDE 2005). A luminosidade é imprescindível para os processos de dinâmica de seu crescimento.

Nas faixas de luminosidade aparente houve efeito significativo ($P < 0.05$) na evolução do aumento do diâmetro de copa (TABELA 1.7).

TABELA 1.7 EFEITO DAS FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE NO DIÂMETRO DE COPA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL

TRATAMENTOS ¹	DIÂMETRO DE COPA ² (m)
60	1,67 ab
45	1,71 a
30	1,59 b
CV% ³	31,10

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) luminosidade aparente (60%, 45% e 30%)

(2) Dados 2011 à 2015

(3) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

O efeito da luminosidade 45% e 60% foi significativo e teve aumento do tamanho do diâmetro da copa das erveiras (1,71 m e 1,67 m quando comparado com luminosidade de 30% (1,59 m). Pode-se constatar que o limite de competição no sombreamento para o crescimento de copa foi na faixa de 45%. Corroborando com Rakocovic *et al.* (2003) que verificaram que a erva-mate responde à sombra, primeiramente como espécie que compete pela luz (alongando o caule e aumentando a área foliar). Contudo, no limite mínimo de luminosidade a planta se adapta preservando o seu funcionamento, efetuando aumento de área foliar por folha e

reduzindo a emissão de novas folhas e a altura do caule, de forma a esperar as condições de radiação mais favoráveis, as quais normalmente ocorrem na abertura de uma clareira.

Na avaliação da altura não houve interação significativa ($P < 0.05$) entre os fatores luminosidade e adubação (TABELA 1.8).

TABELA 1.8 AVALIAÇÃO DA ALTURA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALÍPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²	ALTURA ³ (m)			TESTE F ¹
	60%	45%	30%	
NA	1,63	1,69	1,54	Ns
AC	1,58	1,56	1,44	CV% ⁴
ALC	1,50	1,64	1,62	37,51

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

Para a variável altura estatisticamente não houve efeito significativo nas faixas de luminosidade aparente e da adubação. Pode-se identificar nos dados obtidos que a maior altura (1,69 m) foi na luminosidade aparente de 45% e menor (1,44 m) para a luminosidade 30%. Assim, a tendência do crescimento pode estar relacionada à habilidade de adaptação das plantas às condições de intensidade luminosa do ambiente que no caso da pesquisa foi da faixa de luminosidade 45%.

A capacidade de crescimento em ambientes mais sombreados é um mecanismo importante de adaptação da espécie, o que constitui uma valiosa estratégia para escapar às condições de baixa disponibilidade de luz (MORAES-NETO *et al.*, 2000).

Por outro lado, em plantas submetidas a ambientes mais iluminados ocorre diminuição da área foliar, o que é benéfico para a planta, uma vez que menos material foliar é exposto a eventuais danos causados pelo excesso de luz (CLAUSSEN, 1996).

Na avaliação da produtividade média da biomassa comercial das erva-mates não houve interação significativa ($P < 0.05$) entre os fatores luminosidade e adubação. Mesmo não havendo diferença estatística, pode-se observar a tendência de maior produtividade média (1,964 kg/planta) obtida na faixa de luminosidade 60% e a menor (1,109 kg/planta) na luminosidade 30% (GRÁFICO 1.1).

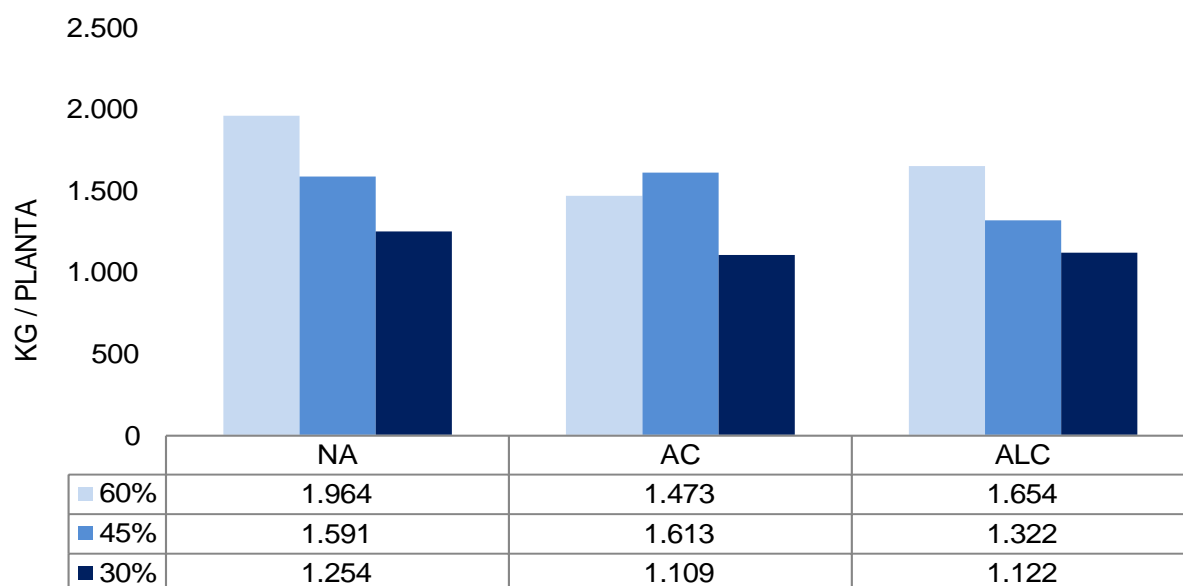


GRAFICO 1.1 AVALIAÇÃO DA BIOMASSA COMERCIAL DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60%, 45% E 30%) E NÃO ADUBADO NA, ADUBAÇÃO CONVENCIONAL AC E DE LIBERAÇÃO CONTROLADA ALC

A produtividade média encontrada no tratamento 60% luminosidade aparente NA (2.455 kg.ha^{-1}) pode ser considerada baixa, quando comparada $12.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ para ervais com alta tecnologia de manejo e alta densidade de plantas (SANTIN *et al.*, 2015). Para um sistema agroflorestal a produtividade obtida está dentro do esperado, quando comparado com sistemas agroflorestais como Santos (2009) apresenta 1.654 kg.ha^{-1} para uma população estimada de 1.100 plantas/ha e o de Mattos (2011), que registrou a produtividade média de 1.365 kg.ha^{-1} para sistema não tecnificado em média 1.120 plantas /ha em 30 propriedades com área média de erval nativo de 22,8 ha. Ainda é baixa quando comparada com a produção média de 5.000 kg.ha^{-1} para a maior parte das plantações argentinas, conforme relata Artaza (1995).

A prática de adubação poderia trazer resultados positivos na produtividade da erva-mate (SANTIN *et al.*, 2015). Em sistema agroflorestal as plantas competem por uma grande variedade de recursos no solo, principalmente água e nutrientes, entretanto os resultados levantados no presente estudo demonstram que a adubação não teve efeito significativo na produtividade de biomassa durante o período analisado.

Apresentou-se uma tendência de 2% (GRÁFICO 1.1) de incremento na luminosidade aparente de 45% com adubação convencional, quando comparado com o NA corroborando com Rossa (2013) que a fertilização promoveu efeitos discretos à

produtividade da cultura de erva-mate, dentro do período de dois anos. Para o produtor ervateiro esse ganho percentual pode resultar em rentabilidade para o pagamento dos seus custos fixos do sistema agroflorestal.

A luminosidade aparente teve efeito significativo ($P < 0.05$) na produtividade de biomassa (TABELA 1.9).

TABELA 1.9 EFEITO DAS FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE (60, 45 E 30%) NA BIOMASSA POR PLANTA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO

TRATAMENTOS ¹	BIOMASSA ² (kg)
60	1697,05 a
45	1508,83 a
30	1160,96 b
CV% ³	79,08

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) luminosidade aparente (60%, 45% e 30%)

(2) Dados 2011 à 2015

(3) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

A análise das médias mostrou diferença significativa no nível de 5% de probabilidade na produtividade de biomassa entre a luminosidade aparente 60% e 30%. Demonstrando que as maiores produtividades de biomassa foram nos sistemas menos sombreados de 60% e 45% (1697,05 kg) e (1508,83 kg) respectivamente. Discordando com Pes *et al.* (1995), onde descrevem que índices elevados de luminosidade não promoveram incremento de biomassa de erva-mate.

A produção de biomassa da *Ilex paraguariensis* (folhas + ramos) é maior no cultivo solteiro quando comparado ao consorciado (CARON, 2014).

5 CONCLUSÃO

A adubação de liberação controlada e convencional proporciona o aumento da área foliar nas faixas de luminosidade de 45% e 30%. Na luminosidade de 60% a adubação não tem efeito.

Luminosidade de 60% afetou as erva-mate provocando reduções da área foliar.

A adubação convencional promove incremento de peso nas folhas da erva-mate.

Luminosidade de 60% provoca maior desenvolvimento do diâmetro da copa da erva mate.

O limite de competição pela luz para crescimento de copa da erva-mate é na faixa de 45%.

A altura da erva mate não sofre alteração nas faixas de luminosidades 60%, 45% e 30%.

A prática da não adubação e luminosidade aparente de 60% promove produtividade de biomassa comercial da erva-mate.

A adubação convencional na faixa de luminosidade aparente de 45% na erva-mate incrementa 2% da biomassa comercial.

REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Rio de Janeiro. 2013.

ANDRADE, F. M. **Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em Ilex paraguariensis Saint-Hilaire, crescendo sob sombreamento e pleno sol**. 2004. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 0-0, 2011.

BAILER, W. Writing ImageJ plugins a tutorial. **Upper Austria University of Applied Sciences, Austria**, 2006.

BERTOLA, A. Eucalipto-100 anos de Brasil-“ Falem mal, mas continuem falando de mim!”. **Setor de Inventário Florestal– V&M Florestal Ltda**, 2000.

BULHÕES, F. M. **Conhecimento e inovação no manejo de sistemas agroflorestais por citricultores ecológicos no Vale do Caí, RS**. Tese de doutorado em Desenvolvimento Rural, UFRGS, Porto Alegre – RS, 2011

CALLAWAY, R. M. Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. **Oecologia**, v. 112, n. 2, p. 143-149, 1997.

CARON, B. O. et al. Biomassa e acúmulo de nutrientes em Ilex paraguariensis A. St. Hil. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 267-276, 2014.

CARVALHO. P. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; 2003. vol.1.

CARVALHO, J. E. U. **Utilização de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais na Amazônia. Capital social na concepção de políticas públicas: A importância socioeconômica e ecológica dos sistemas agroflorestais frente aos mecanismos de desenvolvimento**. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. (Eds.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**.

CLAUSSEN, J. W. Acclimation abilities of three tropical rainforest seedlings to an increase in light intensity. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 245:255, 1996.

COELHO S.R.F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas nativas**- Dissertação. Piracicaba: Recursos Florestais, Universidade de São Paulo; 2006.

COUTO, L., F, E.N. Comportamento inicial de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden consorciado com milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. In: Congresso Florestal Panamericano, 1, Congresso Florestal Brasileiro, 7. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. P.270-273.

CRONQUIST, A. 1981. **An Integrated System of Classification of Flowering Plants**. New York, Columbia Univ. Press. 1262 p.

DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C. A. M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.3, p.367-370, 1999a.

ELOY, E., CARON, B. O., DE SOUZA, V. Q., BEHLING, A., & ELLI, E. F. Influência do espaçamento na altura e diâmetro da copa. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 2012 675.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro. 2006

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. Circular. Técnica **IPEF**, Piracicaba, v. 47, p. 1-30, 1979.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil., em função do sítio e da dioícia**. 1997. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997

PEZZOPANE, J. E. M. Caracterização microclimática, ecofisiológica e fitossociológica em uma floresta estacional semidecidual secundária. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 301-307, 2006.

GARRITY D.P. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. **Agrofor Syst** 61:5–17(2004).

GALVÃO, F. **Variação sazonal da fotossíntese líquida e respiração de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Ilex paraguariensis* St. Hil. e *Podocarpus lambertii* Kl. em função da intensidade luminosa e temperatura.** Curitiba, 1986. 116 p. Tese. Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal.

GHOLZ, H. L. **Agroforestry: realities, possibilities and potentials**, Dordrecht: Nijhoff. 1987. 227p.

GLIESSAMNN. S.R. **Agroecologia: processo ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 2000. 653p.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. DOS.; SCHNEIDER, L. 2002. **Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*).** In: Simões, L. L. & Lino, C. F. (Orgs). *Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais.* Editora Senac São Paulo, São Paulo, Brasil, p.85-101.

GURGEL FILHO, O. A. **Plantio de eucalipto consorciado com milho.** *Silvicultura em São Paulo.* v.1, n.1, p.85-102. 1962.

HUXLEY, P. **Tropical Agroforestry.** Oxford: Backwell. 1999. 371p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Estado do Paraná 1994. Londrina, IAPAR. 49 p.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F.S. & PONS, T.L. 1998. **Plant physiological ecology.** New York, Springer Verlag.

LAMPRECHT H. **Silvicultura nos trópicos.** Eschborn: GTZ; 1990.

LEMOS-FILHO, J.P. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysentericae* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. **Revista Brasileira de Botânica**, 2000. 45-50p.

LOPES, W. P.; GARCIA, A. **A importância e o valor das florestas na pequena propriedade rural.** Vitória, 2002, 28 p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 2 368 p.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAC DICKEN, K.G.; VERGARA, N.T. **Agroforestry: classification and management**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 382p.

MACCARI JUNIOR, A.; MAZUCHOWSKI, J.Z. **Produtos Alternativos e Desenvolvimento da Tecnologia Industrial na Cadeia Produtiva da Erva-mate**. Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Erva - Mate / MCT / CNPq / Projeto PADCT Erva-mate. Curitiba, 2000. 176 p.

MATTOS, A. G. **Caracterização das práticas de manejo e das populações de erva-mate (*Ilexparaguariensis* St. Hil.) nativa em exploração no planalto norte catarinense**. 2011. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MAZUCHOWSKI, J.Z; RUCKER, N. G. de A. **Erva-mate – Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná/ Departamento de Economia Rural, 1996. 130 p.

MAZUCHOWSKI, J.Z. **Influência de níveis de sombreamento e de Nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.** Dissertação de Mestrado em Solos: UFPR. Curitiba: 2004. 104 p.

MONTOYA, L. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Estado da arte dos sistemas agroflorestais na região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ECOSISTEMAS MORAES NETO, S. P. et al. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica, em função do nível de luminosidade. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p.35-45, 2000.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. (In). MacDICKEN, K.G.; VERGARA, N. T. (Ed.) **Agroforestry: classification and management**. New York: Wiley Interscience, 1990. 382 p.

NAIR, P. K. R., ed. Agroforestry systems, practices and technologies. In: NAIR, P.K.R., ed. **Agroforestry systems in the tropics**. London: Kluwer Academic Pub., 1989. p. 53-62.

NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 499p.

NAKAZONO, E.M.; COSTA, M.C. da; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M.T.S. **Crescimento Inicial de *Euterpe edulis* Mart. em Diferentes Regimes de Luz**. Revista Brasileira de Botânica. São Paulo: 2001, v. 24, n. 2, p. 173-179.

O INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY. Annual Report of the International Council for Research in Agroforestry, 1986.

OLIVEIRA, A. D. de; LEITE, A. P.; BOTELHO S. A.; SCOLFORO, J. R. S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 34-56, 1998.

OLIVEIRA, A.C.; WEISS, D.; PINTO, L.S.; REISSMANN, C.B. **Procedimentos de coleta para análise foliar de essências florestais (araucária, erva-mate, palmito, eucalipto, pinus)**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Projeto de Extensão Universitária Solo Planta, 2001. (Folder).

OLIVEIRA, E.P. A diversidade da mesofauna do solo em sistemas agroflorestais em áreas de Manacapuru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS: Manejando a Biodiversidade e Compondo a Paisagem Rural, 3., Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 17-18.

OLIVEIRA, Y.M.M. de; ROTTA, E. Área de distribuição geográfica nativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10.; Silvicultura da ervamate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1983, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.17-36. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).

PASSOS, C.A.M. **Comportamento inicial do eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) em plantio consorciado com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Vale do Rio Doce**, Minas Gerais. UFV. Viçosa. 64p. Dissertação de Mestrado. 1990.

PES, L. et al. Comportamento da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em consórcio silvicultural. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 19-32, nov. 1995.

PORFÍRIO-DA-SILVA, Vanderley. Ideótipo de espécie arbórea para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. **Anais...**[Campo Grande, MS: sn, 2013]., 2013.

PRODAN, M., et al. **Mensura Forestal**. San José: GTZ, 1997. 561 p.

RACHWAL, M. F. G.; CURCIO, G. R.; MEDRADO, M. J. S. Desenvolvimento de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia*) em floresta ombrófila mista no estágio de capoeirão, em cambissolo húmico em Colombo, PR. **EMBRAPA-CNPQ, Boletim** n.52, jan. p.1-2. 1998.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. **Produção da grevilea e eucalipto em sistema silvipastoril na região do Arenito Caiuá**, noroeste do Paraná. Documentos, v. 231, p. 01-33, 2011.

RAO, M, et al. Biophysical interactions i tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems** 38, 1998.

REIS, J. **Memória sobre a erva-matte**. Curitiba: Typ. da Livraria Economica, 1909

ROSSA, U. B. **Produtividade e compostos foliares de erva-mate sob efeitos de luminosidade e fertilização**. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Setor de Floresta, Universidade. Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

SÁ, T. D. A. Aspectos climáticos associados a sistemas agroflorestais: implicações no planejamento e manejo em regiões tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ECOSSISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., Porto Velho. **Anais...**, Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. p.391-431. (Documentos, 27).

SANCHEZ. P.A. Science em Sistemas Agroflorestais. **Systems Agroflorestais** 30: 5-55.1995.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; REISSMANN, C. B. **Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura da erva-mate**. In: WENDLING, I.; SANTIN, D. Propagação e nutrição de erva-mate. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015. p. 99-195

SANTOS, S. C. L. **Avaliação comparativa entre sistema agroflorestal com erva-mate e fragmento de Floresta Ombrófila Mista quanto à fitossociologia,**

parâmetros químicos e físicos do solo e ciclagem de nutrientes.. 105 f.
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Paraná, Curitiba.
2009.

SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J.C.; GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, Out. 2011

SIGNOR. P , et al. Produção de erva-mate e conservação de Floresta com Araucária. **Pesquisa Florestal Brasileira.**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 199-208, jul./set. 2015

SILVA, I.C. **Sistemas agroflorestais: conceito e métodos-** 1ed.- Itabuna: SBSAF, 2013. 308p.:il.

SILVA, J. L. S. **Produtividade de componentes de um sistema silvipastoril constituído por Eucalyptus saligna Smith e pastagens cultivada e nativa no Rio Grande do Sul.** 1998. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SINCLAIR, F.. A general classification of agroforestry practice. **Agroforestry System**, n, 46. 1999, p. 161-180.

SOUZA, G. et al. Light utilization strategies and developmental stability of Cordia superba Cham.(Boraginaceae) seedlings grown in different light environments. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 474-485, 2009.

SOUZA. M. **A origem do Chimarrão.** Boletim do Instituto Histórico, Geográfico e Etnográfico Paranaense. Curitiba, v.10, p.32-39, 1969.

STEWART, D. W.; COSTA, C.; DWYER, L. M.; SMITH, D. L.; HAMILTON, R. I.; MA, B. L. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, v.95, p.1465-1474, 2003.

SPOLADOR, JONAS; SANCHES, LUCIANA; COSTA, MARCOS HEIL. Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição cerrado-amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 301-307, 2006.

TAIZ. L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** Tradução: Armando Molina Divan Junior et al. – 5. ed. – Porto Alegre: Artmed, 2012, 918p

TETTO, A. F; ROSSETO, A; MAZUCHOWSKI, J. Z; GONÇALVES, R. V . Aspectos socioambientais de um SAF de erva-mate com eucalipto e feijão para agricultura familiar. In: VII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2009, Brasília. **Anais...**, 2009.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40: 633-638. 2005.

VERGARA, N.T. Classification and management. New York: John Wiley & Sons, 1990 **Agroforestry**:. p.31-57.

WORKMAN. S W., LONG. A J., MOHAN. S, MONROE. M. C. Agroforestry: Options for Landowners. **Of the School of Forest Resources and Conservation**, UF/IFAS Extension, and the Center for Subtropical Agroforestry (CSTAF), Gainesville, FL 32611, (352) 846-3496. 2002.

ZOMER R.J, TRABUCCO A, COE R, PLACE F, VAN NOORDWIJK M, XU JC. Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. Working Paper 179. Bogor, Indonesia: **World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia**. Regional Program. 2014.

CAPÍTULO II

EFEITO DA LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO MINERAL NA COMPOSIÇÃO FOLIAR DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL

PRODUÇÃO, QUALIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE

CAPÍTULO 2: EFEITO DA LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO MINERAL NA COMPOSIÇÃO FOLIAR DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St. -Hil) é espécie nativa do sul do Brasil, norte da Argentina e oeste do Paraguai onde suas folhas e caules são matéria prima para chá e bebidas e tem reconhecimento social, cultural e econômico. É uma das culturas de maior importância em sistemas agroflorestais no sul do Brasil, sendo cultivada em consórcios com araucária (*Araucaria angustifolia*), eucalipto (*Eucalyptus* sp), com culturas anuais e criações animais no sub-bosque (MAZUCHOWSKI, 1996).

A consorciação dentro de sistemas de plantação de árvores é amplamente praticada por agricultores de todo o mundo, mas a influência de diferentes combinações de espécies sobre o desempenho do sistema ainda requer uma investigação mais aprofundada. Os sistemas devem fornecer vários níveis de sombreamento, o que pode só ser obtido através da introdução de uma maior variedade de vida, formas e espécies, a fim de ganhar maior diversidade funcional .

Manter os níveis de nutrientes do solo em sistemas pode ser um desafio, especialmente na baixa fertilidade e solos ácidos.

A ocorrência natural erva mate em solos ácidos e com baixa fertilidade natural, levou essa espécie a ser considerada de baixa exigência nutricional, principalmente em relação ao fósforo, embora pouco se conheça também sobre a exigência de N e K (SANTIN *et al.*, 2013b).

1.1 PROBLEMA

Para uma cultura como a erva-mate que apresenta grande longevidade e, que o produto colhido é composto principalmente por folhas e galhos finos, necessita-se conhecer a demanda nutricional com o intuito de repor os nutrientes exportados pela colheita e o conhecimento das condições de sombreamento em que a planta é cultivada, podendo levar ao aumento da produção.

1.2 JUSTIFICATIVA

As folhas são altamente sensíveis a fatores ambientais, bem como a ciclos fenológicos e ritmos de crescimento. As folhas têm sido consideradas como um alvo primário para investigar os efeitos do meio ambiente e mudanças nas florestas, diante disso o estado nutricional de folhas, ou seja, concentração de macro e micronutrientes é usada como o índice de resposta (BUSSOTTI *et al.*, 2000).

Ainda, são poucas as informações da influência do sombreamento e a adubação mineral na cultura erva mate em sistema agroflorestal, na resposta dos teores de nutrientes nas folhas. Para determinar a melhor condição para aumentar a produção das espécies em sistema, tanto em valores ecológicos como econômicos, a exploração de luz e nutrientes em interações é necessária.

Desta forma, estudos a campo que avaliem a demanda nutricional da erva-mate, bem como os níveis de luminosidade, são necessários para gerar dados para elaboração da recomendação adequada para a cultura.

1.3 HIPÓTESE

Duas hipóteses foram levantadas:

Faixas de luminosidade aparente alteram o teor de macro e micronutrientes nas folhas de erva-mate;

A adubação mineral na erva-mate proporciona acréscimo do teor foliar de macro e micronutrientes nas folhas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Mensurar o efeito das faixas de luminosidade aparente e adubação mineral no teor total foliar de macronutrientes e micronutrientes na erva-mate.

1.4.2 Objetivos específicos

Quantificar e verificar a resposta erva mate no teor total foliar C, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn nas 3 faixas de luminosidade aparente (60%,45% e 30%);

Avaliar a resposta erva mate no teor foliar C, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn submetidas à adubação mineral.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 COMPOSIÇÃO FOLIAR DA ERVA-MATE

A estrutura da planta de erva-mate responde diretamente às condições ambientais, como intensidade luminosa e teores de nutrientes, podendo alterar sua morfologia e seus processos fisiológicos (FOSSATI, 1997). Segundo Floss (1997), os ervaais implantados apresentam baixa produtividade, devido às técnicas inadequadas de cultivo e manejo.

Os efeitos da intensidade luminosa e do sombreamento relativos ao crescimento e desenvolvimento das plantas já foram estudados em outras espécies, como café (FAHL e CARELLI, 1994) e palmito (NAKAZONO *et al.*, 2001), sendo a luz solar essencial no seu processo de fotossíntese, cuja intensidade e duração devem ser suficientes para o crescimento das plantas (DA CROCE e FLOSS, 1999).

Estudos sugerem que o crescimento de erva-mate em sistema consorciado em condições sombreadas aumenta a quantidade de material mineral nas do que quando a árvore é cultivada em pleno sol (FOSSATI, 1997; SOUZA *et al.*, 2008 e RACHWAL *et al.*, 2000).

Na cultura da erva-mate, folhas e ramos são colhidos sucessivamente a cada dois anos. Este procedimento tem por consequência intensa exportação foliar tanto de macro como de micronutrientes (REISSMANN *et al.*, 1985).

De todos os nutrientes, o nitrogênio é o mais exportado pela colheita. Berger (2006) avaliou nas concentrações os nutrientes nas folhas + galhos, madeira, casca, resíduo, e das raízes e descobriu que, com exceção na casca, K foi o segundo mais exportado.

No QUADRO 1.1 apresenta-se os resultados da pesquisa de Campos (1991) sobre a quantidade de nutriente (N, P, K, Ca e Mg) extraído na safra e safrinha em um povoamento puro de *Ilex paraguariensis*, possuindo aos 12 anos de idade.

Colheita	Componentes da Biomassa	Matéria Seca Kg ha ⁻¹	Nutrientes do Total De Matéria Seca (Kg ha ⁻¹)				
			N	P	K	Ca	Mg
SAFRA	Folhas	3846,28	93,50	4,46	46,81	28,15	23,15
SAFRINHA	Folhas	6865,95	150,57	7,14	92,00	39,00	34,12

Quadro 1.1 QUANTIDADES DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DE POVOAMENTO DE *Ilex Paraguariensis* COM 12 ANOS DE IDADE

Fonte: CAMPOS (1991)

Mudanças na morfologia e coloração da folha podem estar associadas a variações na composição química e assim afetar características dos produtos comerciais, como erva mate para chimarrão (REITZ *et al.*, 1978).

Reissmann *et al.* (1985) em estudo junto a ervais do município de Mandirituba-PR, analisaram a variação dos macronutrientes nas folhas de erva-mate, verificando um aumento considerável dos nutrientes N, P e K até o mês de outubro (final de safra de inverno), enquanto que para Ca e Mg ocorre maior exportação na safra de julho (QUADRO 1.2).

NUTRIENTES	INVERNO		PRIMAVERA		VARIAÇÃO (%)	
	Folhas	Ramos	Folhas	Ramos	Folhas	Ramos
Nitrogênio %	1,92	1,01	2,20	1,21	14,60	19,80
Fósforo %	0,17	0,06	0,12	0,10	-29,40	66,70
Potássio %	1,59	0,98	1,86	1,70	17,00	73,50
Cálcio %	0,61	0,88	0,43	1,19	-29,50	35,20
Magnésio %	0,42	0,34	0,33	0,23	-21,40	-32,40

Quadro 1.2 COMPOSIÇÕES MINERAL DE FOLHAS E RAMOS % NAS ESTAÇÕES DE INVERNO E PRIMAVERA

FONTE: Reissmann *et al.* (1985)

A variação sazonal pode ser observada nos valores percentuais, mostrando diferenças quanto à concentração dos nutrientes no inverno e na primavera. Estas diferenças podem indicar variações na qualidade do produto elaborado em diferentes épocas (REISSMANN *et al.*, 1985).

A presença de sais minerais, principalmente potássio, estimula o trabalho cardíaco, sendo interessante para pessoas hipertensas, ajudando na circulação do sangue e diminuindo a pressão arterial. O magnésio, segundo em importância de concentração, exerce funções no organismo através da ativação de enzimas (cofator) ou por ser parte integrante do sistema enzimático. As maiores concentrações de sais minerais na infusão de erva-mate são potássio, magnésio, enxofre, cálcio e fósforo (HEINRICHS e MALAVOLTA, 2001).

As características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais das espécies florestais, da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo e sua eficiência (REISSMANN *et al.*, 1985).

Entre os diversos nutrientes necessários para o desenvolvimento das culturas agrícolas e florestais pode-se destacar o nitrogênio, sendo um elemento mineral exigido pelas plantas (HEINRICHS e MALAVOLTA, 2001).

2.2 ADUBAÇÃO MINERAL CONVENCIONAL E DE LIBERAÇÃO CONTROLADA

A necessidade da adição de nutrientes decorre a não reposição das perdas de nutrientes devidas às colheitas, à lixiviação e à volatilização.

Os adubos nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis, não renováveis (fonte de hidrogênio). Quando utilizado em quantidades excessivas ou condições desfavoráveis, o nitrogênio pode ser perdido e, ao ser transferido para outros locais ou ecossistema, pode converter-se em poluente de águas superficiais ou subterrâneas e da atmosfera (CANTARELLA, 2007).

Cabe citar que, em algumas partes do mundo, como Europa, já existem permissões quanto à quantidade liberada desse nutriente para o ambiente, limitando o seu uso (KOCHBA *et al.*, 1994). A quantidade de nutrientes N_2 , P_2O_5 e K_2O disponíveis no solo por intermédio dos fertilizantes convencionais tem perdas por lixiviação, volatilização e adsorção (ALCARDE, 1998).

Define-se por fertilizante de liberação lenta (FLL), aquele que apresenta propriedade de atrasar a disponibilidade para absorção e uso pelas plantas após a aplicação ou que prolongue de maneira significativa o tempo de liberação do nutriente no solo, em relação as fontes solúveis tradicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2012).

O adubo de liberação lenta é liberado de acordo com a velocidade de degradação química e biológica ao qual é submetido no solo (SHAVIV, 1996). Os fertilizantes de liberação lenta envolvem a liberação do nutriente de forma mais lenta do que os adubos comuns. No entanto, a taxa padrão e a duração da liberação não são bem controlados. Eles podem ser fortemente afetados pelas condições de armazenamento, transporte e distribuição no campo, ou pelas condições do solo, tais como teor de umidade, umedecimento e secagem, descongelamento e

congelamento, e atividade biológica (SHAVIV, 1996).

No mercado existe a terminologia de adubo de liberação controlada ALC, que tornou-se aceitável quando aplicado aos fertilizantes em que os fatores que dominam a taxa padrão e de duração de liberação são bem conhecidos e controlável, durante a preparação da fertilização (SHAVIV, 1996).

Para Shaviv (1996), a longevidade do adubo de liberação controlada ALC depende principalmente da espessura do revestimento e da temperatura do solo.

Vários métodos para caracterizar a liberação de nutrientes para os fertilizantes de liberação lenta, foram desenvolvidos durante as últimas décadas. Estes procedimentos quantificam as taxas de liberação de nutrientes na água ou com meios de comunicação do solo, dependendo do tempo de incubação (MEDINA *et al.*, 2010).

Nos resultados obtidos por Rossa *et al.* (2014), as mudas de *Eucalypto grandis* apresentaram melhores padrões de qualidade quando da utilização do adubo de liberação lenta em comparação com o fertilizante convencional. Do ponto de vista prático, é importante ressaltar que a utilização do fertilizante de liberação controlada reduz significativamente a dose de utilização dos fertilizantes convencionais formulados, bem como várias operações de adubação que demandam mão de obra (ROSSA, 2011, 2013a, 2013b, 2014, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no município de Guarapuava-PR, em um sistema agroflorestal de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) com eucalipto (*Eucalypto grandis* Hill (ex Maiden), localizado na Fazenda São José (Figura 1.1), a 25° 23' 36" de latitude sul, 51°27'19" de longitude oeste, 1110 m s.n.m. de altitude e distância de 286 km de Curitiba.

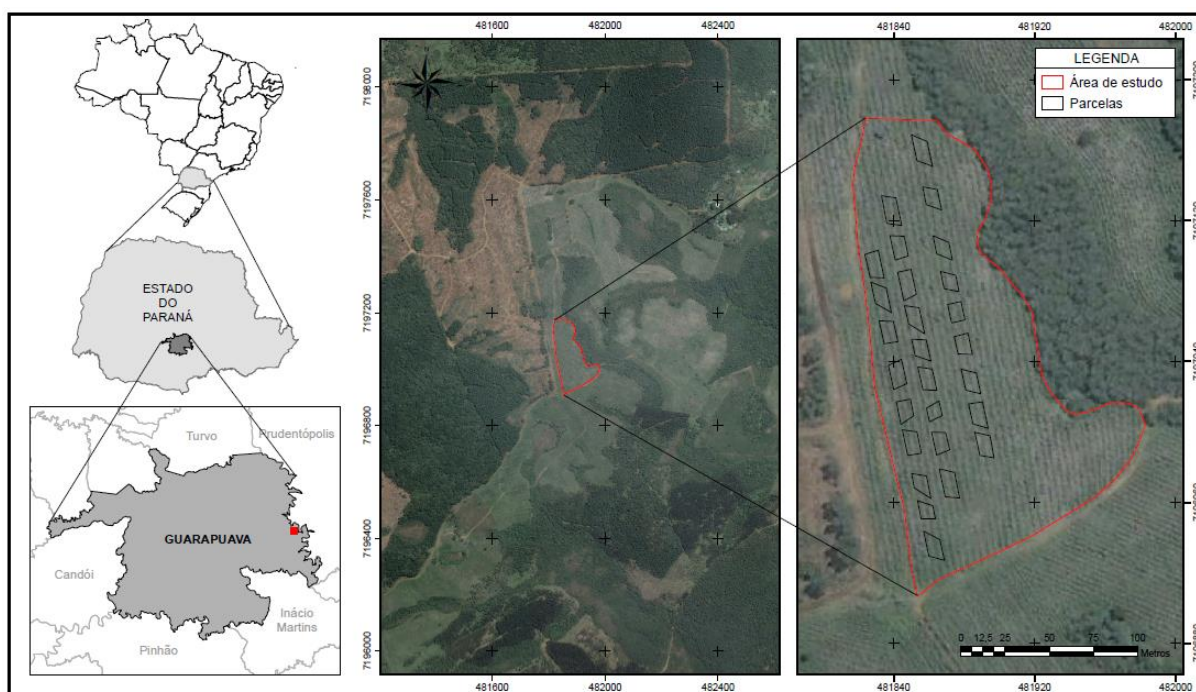


FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA
FONTE: GOOGLE EARTH (2013), adaptado por ROSSA (2013)

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA

Na Fazenda São Jose as mudas de erva-mate do sistema agroflorestal, originalmente foram plantadas a pleno sol, no decorrer dos últimos 30 anos e vem sendo implantando desde o ano de 2000 o sistema de plantio de erva-mate com

eucalipto com a assistência técnica da Embrapa Florestas, IAPAR e UFPR (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2002 implantou-se SAF de erva-mate com eucalipto e feijão. A implantação deste sistema nos ervais de 10 anos de idade com plantio intercalar de eucalipto foi gradual. As mudas de eucalipto foram produzidas no viveiro florestal da empresa SCHIER, com sementes de matrizes do material genético da propriedade. Não foi efetuada adubação na cova e nem de cobertura nos anos posteriores à implantação. O corte da erva-mate é realizado anualmente, nos meses de maio a agosto, obtendo-se uma produtividade média por árvore de 5 quilogramas de folhas de erva-mate verde a cada ano (TETTO *et al.*, 2009).

O plantio de eucalipto foi realizado na linha da erva-mate visando facilitar os tratos culturais do SAF, bem como, as futuras retiradas de árvores manejadas dentro do erval, com o intuito de manter o processo de manejo da sombra. Efetuou-se adubação no plantio a base de 50 gramas de fosfato natural reativo por árvore. A espécie de eucalipto utilizada foi o *Eucalipto grandis* Hill (ex Maiden). Após o 1º ano, efetuou-se anualmente a desrama de forma a deixar uma altura de até 3 metros sem ramos sobre as erva-mates (TETTO *et al.*, 2009).

O espaçamento original do eucalipto foi de 4 x 1,5 metros (cerca de 1.700 plantas por hectare no ano de instalação), com cortes parciais aos 2 e 3 anos, reduzindo 67% da população original. No 4º ano modificou-se o espaçamento passando para 4 metros entre árvores na linha e 6 metros entre ruas, totalizando 416 plantas/ha (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2010 o pesquisador Rossa (2013) alterou os espaçamentos dos eucaliptos, com 6 anos, modificando de duas maneiras: a primeira com 10 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 125 plantas/ha e a segunda com 20 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 63 plantas/ha. Esse novo desenho do sistema agroflorestal foi conduzido com adubação e avaliado durante os anos de 2011 e 2012. Os resultados desse período foram utilizados na pesquisa sob estudo para a composição dos resultados.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A análise de aspectos litoestratigráficos da área revela rochas ígneas da Formação Serra Geral e na Formação Botucatu, ambas do Grupo São Bento, formadas durante a era mesozoica (FIGURA 1.2b). Oriundo dos derrames de vulcanismo de fissura continental, que recobriram o arenito Botucatu regional exposto na escarpa que separa o segundo do terceiro planalto paranaense (ROSSA, 2013).

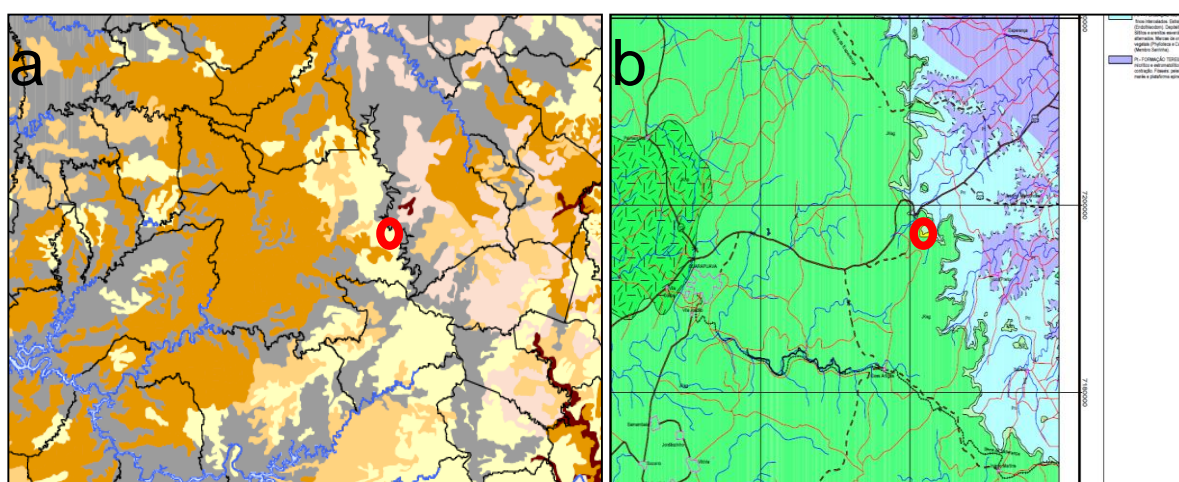


FIGURA 1.2 – MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

Segundo classificação climática de Köppen (IAPAR, 1994), na área experimental ocorre clima subtropical úmido, mesotérmico (FIGURA 1.2a), com média do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca, verão brando, geadas severas demasiadamente frequentes.

A vegetação original da área é composta pela Floresta Ombrófila Mista (FOM) chamada popularmente de Mata com Araucárias, ou ainda pinhal (GUERRA *et al.*, 2002), por ter como constituinte principal a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze que, pelo seu porte e densidade se destaca das demais espécies na formação. Os limites altimétricos das formações da FOM no sul do Brasil determinam sua classificação em Altomontana. Segundo IBGE (1992), a formação Altomontana inclui tipologias que ocorrem acima de 1.000 m s.n.m, caso da área experimental do presente estudo que está situada na faixa de Floresta Ombrófila Mista Altomontana (FIGURA 1.3b),

existindo a presença de remanescentes de vegetação em estágio de desenvolvimento regenerativo secundário.

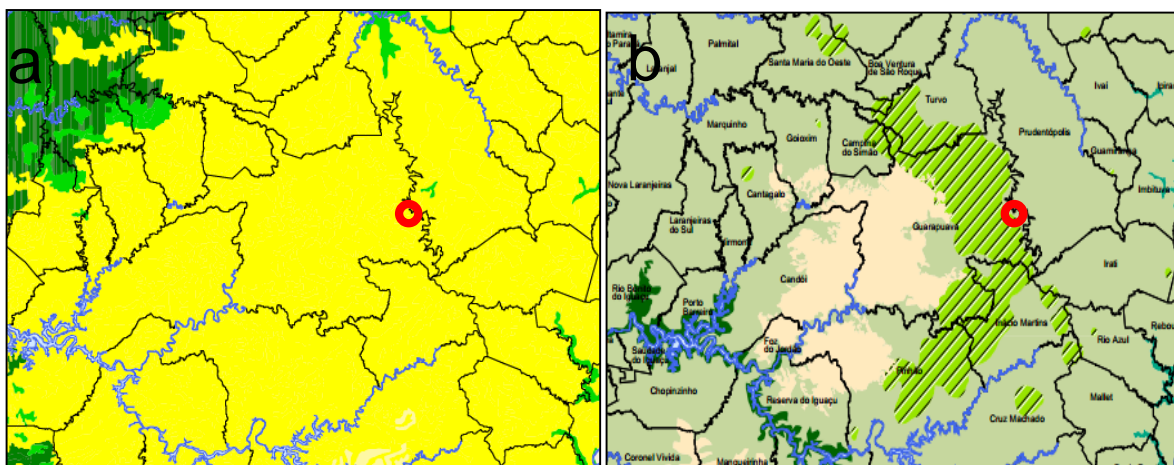


FIGURA 1.3 – MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

3.4 SOLO

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Álico típico pouco profundo textura argilosa (de 80-100 é muito argilosa) cascalhenta A proeminente (EMBRAPA, 2006). O mapeamento parcial é apresentado na FIGURA 1.3 a, enquanto suas características químicas e físicas, em 5 diferentes profundidades são apresentadas nas Tabelas 1.1 e 1.2, respectivamente.

TABELA 1.1 – DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Prof. (cm)	pH		Al ⁺ ₃	H ⁺ Al ³⁺	Ca ⁺ ₂	Mg ⁺ ₂	K ⁺	SB	T	P	C	V	M
	CaCl ₂	SM P	----- cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
0 – 20	4,24	4,79	2,0	14,57	2,3	1,6	0,09	3,96	18,53	1,9	42,1	21	34
20 – 40	3,94	4,54	3,9	18,17	1,1	0,6	0,07	1,76	19,92	5,2	39,8	9	69
40 – 60	4,08	4,86	2,2	11,60	0,1	0,1	0,02	0,26	11,85	1,2	19,4	2	89
60 – 80	4,15	5,24	1,2	8,74	0,1	0,0	0,01	0,07	8,81	0,3	12,7	1	95
80 – 110	4,41	5,32	0,3	8,24	0,8	0,0	0,01	0,84	9,07	0,2	14,0	9	25

FONTE : Rossa (2013)

A saturação por bases do solo (V) é baixa sendo um solo epidistrófico (ele é distrófico apenas no A e álico nos demais horizontes), sendo bastante ácidos e de

fertilidade baixa. Com saturação por alumínio do solo (M) alta (álco) pobre em cálcio com alto teor de alumínio (MALAVOLTA, 2006).

TABELA 1.2 – TEXTURA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia fina	Argila	Silte
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 – 20	73	74	600	253
20 – 40	74	95	580	251
40 – 60	94	73	600	233
60 – 80	118	70	560	252
80 – 110	48	48	700	204

FONTE: Rossa (2013)

3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

3.5.1 Luminosidade Aparente

As determinações de iluminância (NBR ISO/CIE 8995- ABNT) foram efetuadas com a utilização do aparelho luxímetro digital portátil 0 a 200.000 Lux.

Para calcular o índice de luminosidade aparente mediu-se a intensidade de luz a campo aberto, mantendo o luxímetro no plano horizontal a uma altura aproximada 2 metros, relacionando com a intensidade lumínica de cada parcela, para definição das faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30% correspondente a iluminância observada no campo aberto.

Para estabelecimento das faixas de intensidade de luz de cada parcela registrou-se com o luxímetro na face norte da parte superior da copa das 10 plantas uteis de erva-mate nos horários das 9, 12 e 15 horas, durante 3 dias consecutivos.

A partir da observação de iluminancia máxima nas parcelas sem eucaliptos - faixa média de 60% - foi estabelecido as faixas de menor intensidade de luz de 45 e 30%, nas parcelas com eucalipto. Foram realizadas podas nos eucaliptos durante o período de realização do experimento para manutenção dos níveis de intensidade de luminosidade aparente pré estabelecidas de 45% e 30%.

As leituras de intensidade de luz foram realizadas na primeira semana imediatamente após o início de cada estação do ano (verão, outono, inverno, primavera).

Os dados de iluminância levantados referem-se à intensidade de luz difusa média existente em cada parcela, estabelecendo-se as faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30%, medindo-se a Iluminância em Lux (Lx) - que equivale a 1 lúmen por metro quadrado - considerando-se a média da iluminância detectada durante as estações de primavera, verão, outono e inverno nos anos de 2011 a 2015.

3.5.2 Adubação

As erveiras foram adubadas quimicamente com adubo convencional de pronta solubilidade e adubo de liberação controlada com diferentes formulações, conforme segue QUADRO 1.3.

	Convencional ¹	Liberação Controlada ²
Ano	2011/ 2012/ 2013/2014/2015	2011/ 2012/ 2013/2014/2015
Formulação	15% de N; 05% de P ₂ O ₅ e 30% de K ₂ O	15% de N, 8% de P ₂ O ₅ e 12% de K ₂ O

QUADRO 1.3- PERÍODO E FORMULAÇÃO

¹Marca Nitrobrás

²Marca Basacote

No período de 2011 a 2015 as erveiras foram adubadas em duas diferentes tecnologias. A adubação convencional de pronta solubilidade foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em duas vezes por ano (setembro e dezembro), totalizando 10 aplicações. A dosagem foi de 100g por árvore de erva-mate para cada aplicação, na formulação 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O. A dose seguiu recomendação técnica dos fabricantes, sendo utilizado a metodologia de arruação circular de 20cm na projeção das copas (FIGURA 1.4).

A adubação de liberação controlada foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em uma vez por ano (setembro), totalizando 5 aplicações. A dosagem foi de 30g por árvore de erva-mate para cada aplicação, na formulação 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O, sendo utilizado a metodologia de 3 covas de 20 cm de profundidade, abertas na projeção da copa (FIGURA 1.5).



FIGURA 1.4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)



FIGURA 1.5 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA
ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O esquema experimental utilizado foi blocos casualizados, com 9 tratamentos nos blocos em 3 repetições, totalizando 27 parcelas de 180m² em média, com 10 plantas úteis de erva-mate por parcela e bordadura dupla de aproximadamente de 20 metros.

Os tratamentos foram constituídos de maneira a representar o sistema agroflorestal contínuo, por estarem em alinhamento, onde o componente arbóreo eucalipto entrou com função de produzir sombra, sendo correspondente a 45% e 30% da intensidade a campo aberto. Nas erveiras sem o componente arbóreo eucalipto, a iluminância foi correspondente a 60% da intensidade a campo aberto.

Os tratamentos com a faixas de luminosidades foram combinados com diferentes adubações, tendo sem adubação nas erveiras NA, com adubação mineral convencional de pronta solubilização AC e adubação mineral de liberação controlada ALC.

Desta maneira os tratamentos foram:

T1- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T2- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O;

T3- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O.

A configuração das parcelas T1, T2 e T3 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.6).

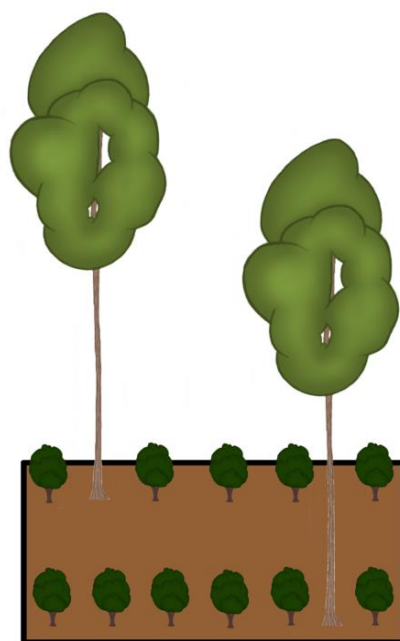


FIGURA 1.6 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3
FONTE: Autor, 2016

T4- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T5- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P_2O_5 e 30% de K_2O ;

T6- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O ;

A configuração das parcelas T4, T5 e T6 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.7).

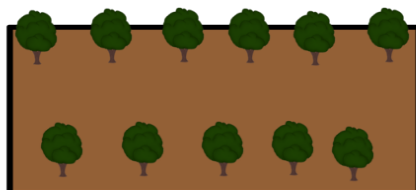


FIGURA 1.7 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T4, T5 E T6
FONTE: Autor, 2016

T7- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T8- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P_2O_5 e 30% de K_2O ;

T9- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O .

A configuração das parcelas T7, T8 e T9 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.8).

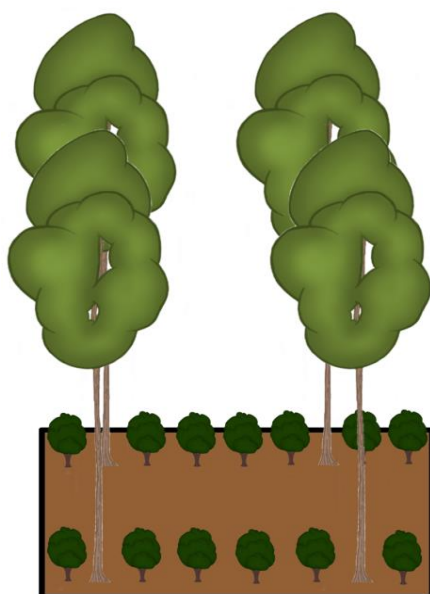


FIGURA 1.8 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9
FONTE: Autor, 2016

A seleção das plantas úteis de cada parcela foi definida pela fórmula de Steel (STEEL; TORRIE, 1960), resultando 10 plantas dominantes por parcela, dentre as 20 plantas passíveis de utilização. No croqui da Figura 1.9 é possível verificar o esquema de distribuição dos blocos e tratamentos. Além da configuração da bordadura de cada tratamento e bloco. Para a avaliação da produtividade das erva-mates todas as 10 plantas úteis de cada parcela foram consideradas.

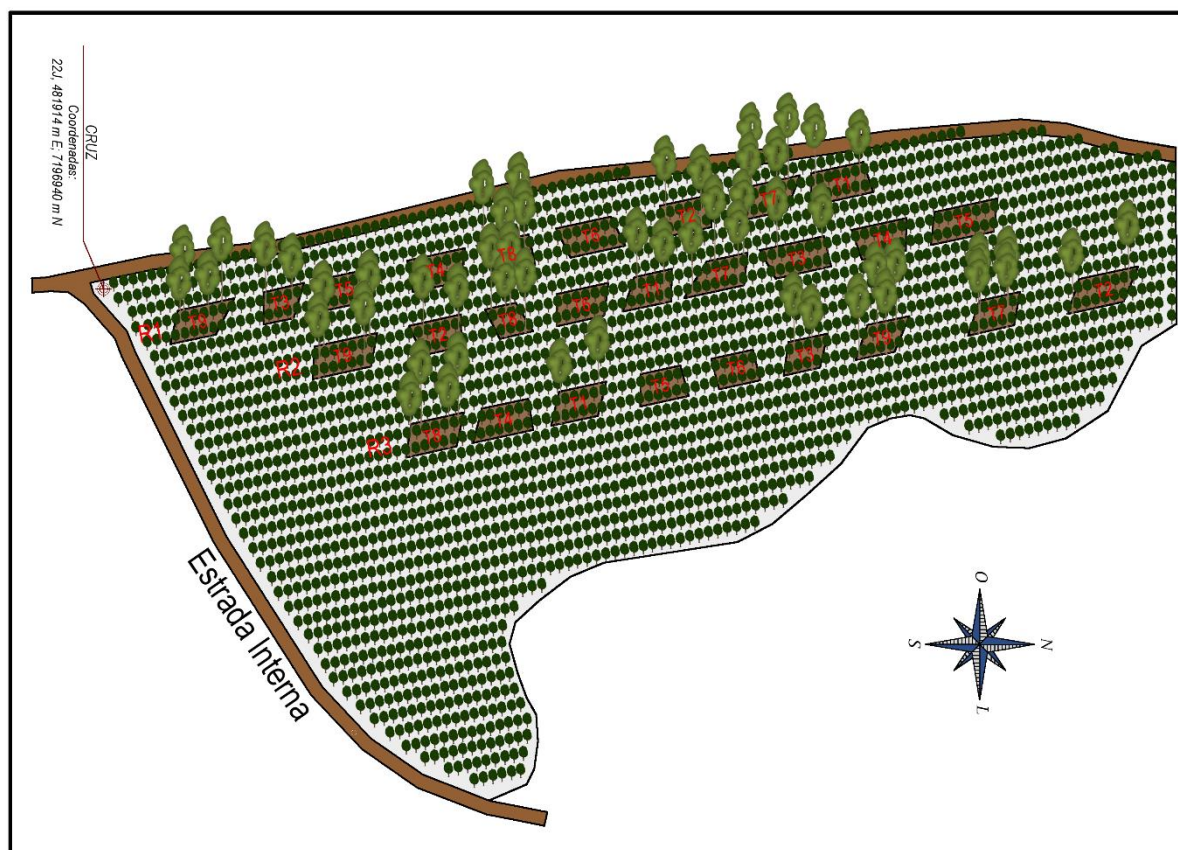


FIGURA 1.9 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM ESPAÇAMENTO ESPECÍFICO PARA A ÁREA
 FONTE: Autor, 2016

As plantas da área útil foram etiquetadas, sendo consideradas individualmente para a coleta de dados nos blocos e tratamentos. A pesquisa foi conduzida durante 5 anos, contados a partir de 2011 até 2015.

3.7 COLETAS DAS FOLHAS

Para analisar as folhas de erva-mate as coletas foram realizadas na época de poda, ou seja, no inverno antes de ocorrer a nova brotação. As folhas estavam maduras e a erva em repouso fisiológico. Durante as três estações de crescimento 2013/2014 e 2015, foram coletadas das 10 plantas úteis 100 folhas do terço médio da planta, limitando-se ao terço médio do ramo e na orientação geográfica norte (REISSMANN *et al.*, 1999).

O beneficiamento das amostras consistiu na lavagem de 100 folhas de cada planta selecionada, com água deionizada, sendo secas em estufa de circulação de ar forçada à temperatura de 60 °C até peso constante. Após, as folhas foram pesadas e moídas em moinho tipo Willy, deixando a amostra com partículas menores ou iguais a 0,5 mm, para acondicionamento em frascos limpos devidamente tampados e identificados.

3.8 ANÁLISES DE P, K, CA, MG, NA, FE, MN, CU E ZN POR DIGESTÃO VIA SECA E SOLUBILIZAÇÃO COM HCL 3 MOL L⁻¹

A análise química mineral total dos elementos P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu e Zn foi efetuada após incineração em mufla à 500 °C, com posterior solubilização em HCl 3 Mol L⁻¹. O P foi determinado por calorimetria com vanadato-molibdato de amônio (cor amarela) e leitura em espectrofotômetro UV/VIS. A determinação de K e Na foi realizada por fotometria de emissão e Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, por espectroscopia de absorção atômica por chama (MARTINS; REISSMANN, 2007).

3.9 OBTENÇÃO DE EXTRATOS DE HIDROSSOLÚVEIS

A extração aquosa foi realizada usando a proporção de 100 ml de água desionizada para 1 g de material foliar (1:100) com posterior filtragem do extrato em papel de filtro faixa azul 389³. A água deionizada foi adicionada já em estado aquecido (75 a 80 °C) no balão que continha a amostra e mantida sob aquecimento em chapa quente durante 5 minutos. Após este período, filtrou-se o extrato ainda quente em balão volumétrico de 250 ml, em metodologia adaptada de Reissmann *et al.* (1994).

Ao atingir a temperatura ambiente, pipetou-se 25 ml de cada amostra em cadinho de porcelana e deixados em chapa aquecida a temperatura de 40 °C até evaporar todo o líquido. Foram determinados os teores dos elementos P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, e Na, utilizando a mesma metodologia descrita anteriormente (MARTINS; REISSMANN, 2007).

3.10 ANÁLISE DE C E N

Do material beneficiado (seco e moído), foram pesadas sub-amostras de 20 mg ($\pm 0,013$) que foram acondicionadas em cápsulas de estanho, sendo introduzidas no analisador elementar (modelo VARIO EL III) para determinação de carbono e nitrogênio via combustão.

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados em delineamento em blocos completos ao acaso, utilizando modelos mistos, sendo os tipos de adubação (NA, AC, ALC), níveis de luminosidade (60%, 45% e 30%) e suas interações considerados como efeito fixo e os anos, bloco e o resíduo como efeito aleatório, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + T_j + b_k + p_l + (ST)_{ij} + e_{ijkl},$$

onde:

Y_{ijl} = valor observado na parcela que recebeu o tipo de adubo i, o nível de luminosidade j, no ano l;

μ = efeito geral da média;

S_i = efeito fixo do tipo de adubo i;

T_j = efeito fixo do nível de luminosidade j;

b_k = efeito aleatório do bloco k;

p_l = efeito aleatório do ano l;

$(ST)_{ij}$ = interação entre o tipo de adubo i e o nível de luminosidade j;

e_{ijkl} = erro aleatório da parcela que recebeu o tipo de adubo i, o nível de luminosidade j, ano l, bloco k;

A estrutura de covariância foi estimada pelo método da máxima verossimilhança restrita.

Quando observado efeito significativo dos fatores do modelo sobre as variáveis dependentes, as médias foram comparadas pelo teste de Student ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TEOR FOLIAR DOS MACRONUTRIENTES

Na análise estatística dos dados o teor médio total foliar do carbono demonstrou que houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a luminosidade e a adubação, os resultados são apresentados na (TABELA 1.3).

TABELA 1.3 TEORES DE CARBONO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²	CARBONO ³ (g kg ⁻¹)			TESTE F ¹
	60%	45%	30%	
NA	479,01 aB	474,78 aB	505,21 aA	0,0001*
AC	456,53 cA	460,86 bA	452,59 bA	CV% ⁴
ALC	467,48 bB	457,49 bB	479,27 aA	6,83

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

O maior teor foi observado na luminosidade aparente de 30% no tratamento NA que diferiu estatisticamente da menor (452,59) do tratamento AC. Na luminosidade aparente de 45% o teor de carbono no NA foi estatisticamente diferente e superior dos tratamentos. Para a luminosidade aparente de 60% o comportamento foi semelhante das demais, tendo o NA com concentração superior e estatisticamente diferente dos tratamentos.

A influência da luminosidade aparente foi significativa indicando que na menor faixa de luminosidade 30% a erva-mate obteve-se maior teor de carbono (TABELA 1.3).

O tratamento ALC teve efeito significativo na luminosidade aparente de 30% e superior quando comparada a luminosidade 45% e 60%. O tratamento AC teve o mesmo comportamento na luminosidade 45% e 60%. As erva-mates sob o tratamento NA tiveram maior teor na luminosidade de 30%, 45% e 60% respectivamente.

A erva-mate cultivada em sistema agroflorestal com 30% de luminosidade aparente acumulou mais carbono quando comparada às cultivadas na luminosidade 45% e 60% e o efeito da adubação não foi significativo.

O teor de nitrogênio foi identificado e quantificado nas folhas de erva-mate submetidas a diferentes faixas de luminosidade e adubação.

Na análise dos dados a estatística aplicada demonstrou que houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a luminosidade e a adubação, os resultados são apresentados na (TABELA 1.4).

TABELA 1.4 TEORES DE NITROGENIO EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²	NITROGÊNIO ³ (g kg ⁻¹)			TESTE F ¹
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	
NA	29,84 aB	30,20 aB	32,10 aA	0,0004*
AC	29,75 aA	29,66 aAB	28,49 cB	CV% ⁴
ALC	30,56 aA	29,46 aA	30,41 bA	14,55

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

O maior teor médio obtido (32,10 g kg⁻¹) de nitrogênio na folha de erva-mate está acima da média 21,1 g kg⁻¹, conforme apresenta Santin *et al.* (2013), mas próximo dos encontrados por Borille *et al.* (2005), que obtiveram teores variando de 28,69 a 31,50 g kg⁻¹.

Na luminosidade aparente de 30% e no tratamento NA o teor de nitrogênio diferiu estatisticamente do tratamento AC e ALC, apresentando teor superior. Resultados semelhantes foram obtidos por Evans e Poorter (2001), que verificaram que o maior teor de nitrogênio total foi encontrado em folhas de plantas submetidas à baixa irradiância.

Segundo Wallace (1961), a necessidade de N em condições de baixa luminosidade pode ser menor, pois resulta num aumento de N solúvel às custas do N insolúvel, devido à quebra de proteínas, devolvendo o N disponível para os processos de crescimento.

Na luminosidade de 45% (TABELA 1.4) não obteve-se diferença estatística entre os tratamentos NA com os AC e ALC. Para a luminosidade de 60% o mesmo

comportamento foi verificado. Uma possível explicação, para o nitrogênio foliar não diferir entre os tratamentos, seria o fato das coletas das folhas terem sido realizadas em julho, época de atividade metabólica mais reduzida, já que, segundo Reissmann *et al.* (1985), o teor de N nas folhas se reduz nos períodos de outono e inverno.

Na análise estatística do teor de fósforo, houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a luminosidade e a adubação. Os resultados são apresentados na TABELA 1.5.

TABELA 1.5 TEORES DE FOSFORO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²	FÓSFORO ³ (g kg ⁻¹)			
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	1,19 aB	1,18 aB	1,38 aA	0,0063*
AC	1,15 aB	1,18 aB	1,27 bA	CV% ⁴
ALC	1,17 aC	1,23 aB	1,29 bA	3,47

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

O maior teor foliar obtido de fósforo (1,38) ficou na média 1,5 g. kg⁻¹ encontrado por Pandolfo *et al.* (2003); Sousa *et al.* (2008), embora Wisniewski *et al.* (1996) e Reissmann *et al.* (1997) também tenham encontrado teores semelhantes da pesquisa.

Na luminosidade aparente de 30% o tratamento NA diferiu estatisticamente do AC e ALC, tendo uma concentração superior aos demais. Na luminosidade aparente de 45% e 60% não houve diferença estatística entre os tratamentos de adubação e não adubado, sendo a concentração foliar muito próxima.

Podemos inferir que adubação mineral AC e ALC resultou no mesmo efeito nas folhas de erva-mate na luminosidade de 30%, 45% e 60% (TABELA 1.5)

Entretanto o maior sombreamento 30% de luminosidade aparente foi o que obteve maiores concentração, discordando de Rachwal *et al.* (2000) que concluíram que o fator luminosidade não afetou significativamente os teores de fósforo nas plantas de erva-mate nos níveis de luminosidade 77,5% e 19,0%.

Na escolha da adubação, o maior teor de fósforo foi na faixa mais sombreada 30% com a adubação convencional e liberação controlada, tornando-se um

importante fator de que tipo de técnica de adubação utilizar nas diferentes faixas de luminosidade.

Os teores foliares do potássio, cálcio e magnésio foram identificados e quantificados nas folhas de erva-mate submetidas a diferentes faixas de luminosidade e adubação. Na análise dos dados a estatística aplicada demonstrou que houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a luminosidade e a adubação nos elementos K, Ca e Mg os resultados são apresentados na TABELA 1.6.

TABELA 1.6 TEORES DE POTASSIO, CALCIO, MAGNESIO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²		POTÁSSIO ³ (g kg ⁻¹)		
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	6,86 aB	7,61 aA	6,62 bB	0,0001*
AC	6,79 abB	8,06 aA	8,19 aA	CV% ⁴
ALC	6,13 bB	6,79 bB	8,63 aA	13,47
TRATAMENTOS ²		CALCÍO ³ (g kg ⁻¹)		
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	4,43 abA	3,97 Bb	4,53 aA	0,0001*
AC	4,08 bb	4,95 aA	4,68 aA	CV% ⁴
ALC	4,70 aA	4,61 aA	4,06 bB	57,7
TRATAMENTOS ²		MAGNÉSIO ³ (g kg ⁻¹)		
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	6,15 aA	5,61 bB	5,05 aC	0,0001*
AC	5,58 bA	5,75 bA	4,80 aB	CV% ⁴
ALC	5,06 cB	6,42 aA	4,28 bC	28,65

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

Para o potássio, o maior teor obtido (8,63) está abaixo da média 14,8 g kg⁻¹ normalmente verificada para a erva-mate (SANTIN, 2008). Radomski, *et al.* (1992), observaram teor médio de 20,8 g kg⁻¹ de K em folhas de erva-mate entre 50 a 100 anos de idade, o valor encontrado neste trabalho pode ser considerado como muito baixo.

Uma justificativa para esse baixo teor, pode estar correlacionada ao potássio encontrar-se predominantemente na forma livre (LINDHAUER, 1985), assim não acumulando no tecido vegetal com o amadurecimento das plantas, possibilitando maiores concentrações nas folhas mais novas.

Na luminosidade aparente de 30% teve-se o maior valor, quando comparado com 45% e 60%, respectivamente, tendo diferença estatística significativa com NA.

Caron *et al* (2014) apresentam que houve maior teor de potássio nas folhas presentes no sistema consorciado. Segundo Wallace (1961), a necessidade de potássio é maior sob condições de baixa luminosidade, observação também feita por Quadros *et al.* (1992), onde estes autores encontraram teores de potássio mais elevados em folhas sujeitas a menor luminosidade.

O potássio atua na regulação do conteúdo de água das folhas, o que é uma condição essencial para a manutenção de taxas adequadas de fotossíntese (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Na luminosidade aparente de 45% a AC não diferiu estatisticamente do NA e foi superior a ALC (TABELA 1.6). O mesmo comportamento ocorreu na luminosidade aparente de 60%. A não adubação foi significativa na luminosidade aparente de 60% e 45%. Na luminosidade aparente de 30% a AC e ALC foram superiores e significativos. Plantas com baixos teores de potássio apresentam menor turgor da célula, pequena expansão celular, maior potencial osmótico, abertura e fechamento dos estômatos de forma irregular (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Em experimentos após seis anos de sucessivas aplicações de fertilizantes K e colheitas, Pandolfo *et al.* (2003) encontraram uma concentração média de folha K de 17,4 g kg⁻¹. Para as erveiras estudadas a adubação de AC e ALC em 5 anos consecutivos não responderam de forma crescente à aplicação de potássio no solo.

A quantidade de K absorvido pode ter sido influenciado pela potencialidade genética (MALAVOLTA E CROCOMO, 1982) ou pela presença de outros íons como Ca e Mg no solo. Para Moreira *et al.* (1999) e Arantes e Nogueira (1986), altos teores de cálcio e magnésio no solo geraram inibição competitiva com o potássio.

Os dados obtidos de cálcio de maior (4,95) e menor (3,97) teor (TABELA 1.6) estão de acordo com a literatura, Sousa *et al.* (2008) 4,60 g kg⁻¹ em erva-mate sombreada e por Reissmann *et al.* (1999) a ervais nativos 4,30 g kg⁻¹. O menor teor (3,97) na luminosidade 45% pode ser justificada pelo alto teor de N (TABELA 1.5) nas folhas. A presença de alto teor de N nas folhas é verificada quando os teores de cálcio são baixos (ROSOLEM *et al.*, 1984).

Houve diferença significativa na luminosidade aparente de 30% entre os tratamentos. O maior teor foliar foi no tratamento NA seguida por AC e ALC. Na luminosidade de 45% AC e ALC foram superiores e diferentes estatisticamente ao NA. Na luminosidade de 60% NA e ALC tiveram valores iguais estatisticamente.

A adubação AC teve efeito positivo na luminosidade 30% e 45% e a adubação ALC na luminosidade de 45% e 60%. Os valores obtidos revelaram que o teor de cálcio nas folhas de erva-mate pode sofrer influência da adubação na luminosidade de 45%.

O teor do magnésio obtido nas folhas erva mate ($6,15 \text{ g.kg}^{-1}$) (TABELA 1.6) é superior da média da literatura como de $2,80 \text{ g kg}^{-1}$ por Oliva *et al.* (2006) e $3,0 \text{ g.kg}^{-1}$ por Sousa *et al.* (2008). Entretanto, os valores de magnésio exportados pela erva-mate ficaram próximos da exportação de nutriente da *Ilex paraguariensis* de povoamentos naturais encontrados por Reissmann *et al.* (1985), com valores de 5,50 para ervais com 12 anos.

A luminosidade aparente de 60% e 45% obteve-se os maiores teores (6,42 e 6,15) quando comparado com luminosidade de 30% (5,05 e 4,80). Na luminosidade de 60% NA diferiu estatisticamente de AC e ALC e na luminosidade 45% a adubação ALC foi superior e estatisticamente significativa de AC e NA. No maior sombreamento (30%), a concentração de magnésio não teve efeito da adubação ALC, quando comparada com NA e AC.

Epstein (1975) relata que na absorção do Mg e do Ca pela planta há competição e o excesso de um desses elementos resulta na diminuição na absorção do outro. Tal efeito no desequilíbrio nutricional resulta na diminuição do desenvolvimento vegetal (ROSOLEM *et al.*, 1984).

4.2 TEOR FOLIAR DOS MICRONUTRIENTES

O teor foliar de ferro, manganês, zinco e sódio foram identificados e quantificados nas folhas de erva-mate submetidas a diferentes faixas de luminosidade e adubação. Na análise dos dados a estatística aplicada demonstrou que houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a luminosidade e a adubação nos elementos Fe, Mn, Zn e Na, os resultados são apresentados na TABELA 1.7.

TABELA 1.7 TEORES DE FERRO, MANGANÊS, ZINCO E SÓDIO PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE E ADUBAÇÃO

TRATAMENTOS ²		FERRO ³ (mg kg ⁻¹)		
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	52,77 aB	40,76 bC	71,25 bA	0,0097*
AC	58,64 aB	48,26 bC	82,42 aA	CV% ⁴
ALC	58,47 aB	60,40 aB	76,10 abA	27,77
TRATAMENTOS ²		MANGANÊS ³ (mg kg ⁻¹)		
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	968,74 aA	729,49 bB	613,67 bC	0,0001*
AC	745,76 bA	881,85 aA	947,28 aB	CV% ⁴
ALC	730,53 bA	583,18 cB	506,57 cB	36,24
TRATAMENTOS ²		ZINCO ³ (mg kg ⁻¹)		
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	95,94 bB	88,16 aC	109,83 aA	0,0001*
AC	105,36 aA	88,04 aB	106,54 aA	CV% ⁴
ALC	73,55 bB	88,03 aA	95,20 bA	38,77
TRATAMENTOS ²		SÓDIO ³ (mg kg ⁻¹)		
LUMINOSIDADE	60%	45%	30%	TESTE F ¹
NA	184 aC	229 bB	242 bA	0,001*
AC	141 bC	230 aB	271 aA	CV% ⁴
ALC	183 aC	228 bB	243 bA	35,93

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

Os dados de ferro desse estudo são inferiores aos teores do nutriente em folhas, quando comparados com Reissmann *et al.* (1987) e Robassa e Pandolfo *et al.* (2003). A média de concentração citada na literatura nas folhas de erva-mate, é 112,9 mg kg⁻¹ (SANTIN, 2008). O maior teor (82,42 mg kg⁻¹) foi na luminosidade aparente 30% e a menor (40,76 mg kg⁻¹) na luminosidade aparente de 45%. Dechen e Nachtigall (2006) ressaltam que teores entre 50 e 100 mg kg⁻¹ são adequados para o crescimento normal das plantas.

Na luminosidade aparente 30% a adubação ALC foi significativa estatisticamente quando comparada com NA. Na luminosidade 45% ALC foi superior e diferiu estatisticamente da AC e NA (TABELA 1.7). Já, na luminosidade 60% a concentração do ferro nas folhas não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Os teores de Fe diferenciaram-se nos tratamentos com adubação, indicando a influência do efeito proporcionado pela adubação mineral de liberação controlada, já que sua disponibilidade é influenciada diretamente pela sua presença no solo, com interação da faixa de luminosidade 30%. Também, deve considerar a

importância do genótipo e do ambiente rizosférico para atuação dos mecanismos específicos de absorção deste elemento (JOLLEY; BROWN, 1994).

O maior teor (968,74) do manganês (TABELA 1.7) ocorreu na luminosidade aparente de 60% no tratamento NA, o menor (506,57) na luminosidade 30% no tratamento ALC. A média da literatura para o teor de manganês em folhas de erva-mate é de 1.445,3 mg kg⁻¹ (SANTIN, 2008). Podemos considerar baixo o teor encontrado, entretanto, Caldeira et al. (2006) encontrou 653,5 mg kg⁻¹ para erva-mate na floresta Ombrófila Mista Montana.

A erva-mate com o maior sombreamento, 30% de luminosidade foi a que diferiu-se estatisticamente entre os tratamentos ALC e NA. Pode-se arguir que nos maiores sombreamentos (30% e 45%) a adubação tem efeito em aumentar o teor de manganês foliar (TABELA 1.7). O Mn, segundo Graham e Webb (1991), é, entre todos os micronutrientes, o mais importante no desenvolvimento da resistência da planta às doenças fúngicas das raízes e folhas. Baixo teor de Mn resulta em menos fenóis solúveis, assim, menor resistência às doenças (MALAVOLTA 1998).

Variações nos teores de Mn foram observadas por outros autores entre famílias botânicas, segundos o estudo de Stark (1970). O Mn é considerado um dos micronutrientes de maior acumulação em determinadas espécies e famílias (RODIN e BAZILEVIC, 1967), principalmente em espécies da família Aquifoliáceas.

O teor de zinco, quantificado nas folhas erva mate no presente trabalho está acima da média 43,4 mg kg⁻¹ da literatura normalmente verificada para esta espécie (SANTIN, 2008). A maior concentração (109,83) foi na luminosidade 30% para o tratamento NA e a menor (73,55) para a luminosidade 60% no tratamento ALC. Essa diferença de concentração da literatura com o presente estudo pode ser reflexo do aproveitamento do Zn pela erva-mate adubada com fertilizantes contendo Zn (TABELA 1.7).

O Zn está estreitamente envolvido no metabolismo de nitrogênio nas plantas e, conseqüentemente, na síntese proteica (Malavolta, 1980). Os teores de proteínas formadas nas folhas de cafeeiros com deficiência em Zn foram menores que em folhas normais (RAMAIAH *et al.*, 1964). As amostras das folhas em estudo, apresentaram percentuais médios de 16,67% a 18,12 % de proteína. Considera-se altas as médias obtidas para a espécie, quando comparados com estudos de Barboza (2006) e Esmelindro *et.al.* (2002), cujos valores médios foram de 11,59% e 14,49%, respectivamente.

Na luminosidade aparente de 60% o teor de zinco foi superior no tratamento AC e diferiu estatisticamente do NA e ALC. Na luminosidade aparente de 45% a concentração foi homogênea. Na luminosidade aparente de 30% AC e NA tiveram o mesmo teor (TABELA 1.7).

Na erva-mate é comum verificar grandes variações do teor foliar de Zn em plantas com mesma idade. Fossati (1997), ao trabalhar com erva-mate de sete anos, obteve teores foliares de Zn entre 45 e 130 mg kg⁻¹. Reissmann *et al.* (1994) verificaram que o teor de Zn variou de 6 até 75 mg kg⁻¹.

Na avaliação de cada tratamento a luminosidade de 30% teve efeito significativo no aumento da concentração de zinco nas folhas quando comparada com 60% e 45% respectivamente.

Para o micronutriente sódio os teores médios nas folhas erva mate foram de 141 a 271 mg kg⁻¹ (TABELA 1.7), sendo que os maiores incrementos ocorreram na luminosidade aparente de 30%, seguida da luminosidade 45% e 60%. Os teores estão condizentes encontrada na literatura como aqueles verificados por Oliva (2007), em progênies de duas localidades no Paraná, de 270 a 150 mg kg⁻¹.

A adubação AC teve efeito significativo e diferiu estatisticamente nas faixas de luminosidade (45% e 30%). Maiores sombreamentos e adubação convencional podem incrementar o teor de sódio nas erva-mate

O teor do cobre foi identificado e quantificado nas folhas de erva-mate submetidas a diferentes faixas de luminosidade e adubação. Na análise dos dados obtidos não houve interação entre a luminosidade e adubação e não permite inferir que a adubação exerce influência significativa ($P < 0.05$) no teor do cobre. Entretanto podemos verificar que a luminosidade teve efeito significativo (TABELA 1.8).

TABELA 1.8 EFEITOS DE DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE APARENTE NO TEOR DE COBRE PRESENTE EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO

TRATAMENTO ²	COBRE ³ (mg kg ⁻¹)	TESTE F ¹
30	11,78 ab	0,0001*
45	12,05 a	CV % ⁴
60	11,67 b	38,5

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) 30%, 45% e 60% luminosidade aparente

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

O efeito da luminosidade aparente de 45% foi significativo e superior (12,05) diferindo estatisticamente de 60%. Na luminosidade de 60% o teor de cobre foi menor (11,67), seguida de 30% (11,78).

Há referências que o nível de Cu pode variar na faixa de 5,0 – 50,0 mg kg⁻¹, na erva-mate (RADOMSKI *et al.*, 1992). Os teores de Cu coletadas aos sete anos de idade por Robassa (2005) variaram de 7 a 11 mg kg⁻¹ em folhas maduras de morfotipos de erva-mate. Para Santin (2008) a média de concentração de cobre encontrado em literatura, nas folhas de erva-mate, é de 12,6 mg kg⁻¹.

Um incremento do teor foliar de Cu era esperado nas amostras das erva-mates adubadas, sendo atribuído a ação do efeito positivo na disponibilidade ou na absorção deste elemento com as doses de NPK nos tratamentos AC e ALC. Entretanto, o não aumento do teor do cobre pode ser justificado pela interação antagônica do Cu e o Zn entre si (MOTTA *et al.*, 2007). Salientando que, a interação entre elementos normalmente ocorre quando a concentração de um se torna muito desproporcional em relação ao outro no solo.

5 CONCLUSÕES

O maior teor de Carbono e Nitrogênio foi observada na luminosidade aparente de 30%, sendo que a adubação não promoveu incremento desse atributo.

Para o macronutriente Fósforo, o fator luminosidade aparente 30% influenciou o aumento do teor nas folhas. A adubação mineral convencional e de liberação controlada resultaram no mesmo acréscimo de teor foliar nas faixas de luminosidade 60%, 45% e 30%.

Maiores teores de potássio foram encontrados na faixa de luminosidade 30%, com o mesmo efeito da adubação convencional e de liberação controlada.

O teor de cálcio teve incremento na faixa de luminosidade 45% com o efeito da adubação de liberação controlada e convencional.

O magnésio teve seu incremento nas faixas de luminosidade 60% e 45%, respectivamente. Na faixa de luminosidade 60% a adubação não teve efeito. Já na faixa de luminosidade 45%, a adubação de liberação controlada promoveu incremento do magnésio nas folhas.

Os teores do ferro nas folhas de erva-mate tiveram incremento na faixa de luminosidade de 30% e houve influência da adubação mineral de liberação controlada.

O maior teor de manganês foi obtido na faixa de luminosidade 60%, sendo que a adubação mineral não promoveu incremento nesta luminosidade. Em maiores sombreamentos a adubação teve efeito no aumento do teor de manganês nas folhas.

Para o zinco, o sombreamento teve efeito no incremento do teor e a adubação mineral não promove aumento da concentração.

Maiores sombreamentos e adubação mineral convencional na erva-mate promovem incremento do teor do sódio nas folhas.

A adubação mineral convencional e de liberação controlada não influenciou o aumento dos teores de cobre nas folhas de erva-mate. A faixa da luminosidade aparente de 45% favoreceu o acréscimo do teor de cobre nas suas folhas.

REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Rio de Janeiro. 2013.

ALCARDE, J.C; GUIDOLIN, J.A. e LOPES, A.S. Os adubos e a eficiência das adubações. São Paulo, ANDA, 1998, 35p. 3a ed. (**Boletim Técnico, 6**).

ARANTES, E. M.; NOGUEIRA, F. D. Efeito da relação Ca/ Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, nas concentrações de K, Ca e Mg, e nas relações catiônicas da parte aérea. **Ciência Prática**, v. 10, p. 136- 145, 1986.

BARBOZA, L. M. V. **Desenvolvimento de bebida à base de erva-mate (Ilex paraguariensis Saint Hilaire) adicionada de fibra alimentar..** 236 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)- Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (Ilex paraguariensis A. St. Hil.) no município de Nova Prata**, RS. Santa Maria. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BUSSOTTI, F.; BORGHINI, F.; CELESTI, C.; LEONZIO, C.; BRUSCHI, P. Leaf morphology and macronutrients in broadleaves trees in central Italy. **Trees**, v. 14, p. 361-368, 2000.

BORILLE, A. M.; REISSMANN, C. B.; FREITAS, R. J. S. Relação entre compostos fotoquímicos e o N em morfotipos de erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil). B. **CEPPA**, Curitiba, v. 23, n. 1. p. 183-198, jan./jun. 2005.

BROWN, J.C. e V.D. JOLLEY. Strategy I and Strategy II mechanisms affecting iron availability to plants may be established too narrow or limited. **J. Plant Nutr.**, v. 11, p.1077-1098, 1988.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de Ilex paraguariensis. Avaliação na safra e na safrinha.** 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p.375-470.

DA CROCE, D.M.; FLOSS, P.A. Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 1999. 81p. (**Epagri, Boletim Técnico, 100**).

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.327-354.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975.

ESMELINDRO, M, C; TONIAZZO, G; WACZUK, A; DARIVA, C; OLIVEIRA, D. **Caracterização físico-química da erva-mate influência das etapas do processamento industrial**. Departamento de Engenharia de alimentos-URICampus de Erechim. ERECHIM, 2002.

EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.24, n.8, p.755-767, 2001.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; VEGA, J.; MAGALHÃES, A. C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (cofea arabica L.). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 69, p. 161-169, Jan. 1994

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 3. ed. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de ervamate (Ilex paraguariensis St. Hil.)**. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.).

Micronutrients in Agriculture. **Soil Science Society of America**, Madison, p.333–339, 1991.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. DOS.; SCHNEIDER, L. 2002. **Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*)**. In: Simões, L. L. & Lino, C. F. (Orgs). *Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais*. Editora Senac São Paulo, São Paulo, Brasil, p.85-101.

HEINRICHS, R.; MALAVOLTA, E. Composição mineral do produto comercial da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 781-785, 2001.

JOLLEY Von, D. & BROWN, J. C. Genetically controlled uptake and use of iron by plants. In: MANTHEY, J. A.; COWLEY, D. E.; LUSTER, D. G. (Ed.). **Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere**. Boca raton: Lewis Publishers, 1994, p. 251-266.

KOCHBA, M.; DIAB, S.; AVNIMELECH, Y. 1994 Modeling of nitrogen transformation in intensively aerated fish ponds. **Aquaculture**, 120: 95-104.

LINDHAUER, M.G. The role of potassium in the plant with emphasis on stress conditions (water, temperature, salinity). In: *Proceedings of the Potassium Symposium*. Department of Agriculture and Water Supply, International Potash **Institute and Fertilizer Society of South Africa**. Pretoria, 1985. p. 95-113.

MAZUCHOWSKI, J.Z; RUCKER, N. G. de A. **Erva-Mate – Prospecção Tecnológica da Cadeia Produtiva**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná/ Departamento de Economia Rural, 1996. 130 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1998. 596p.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O. J. O potássio e a planta. In: *POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA*, Londrina, 1982. **Anais**, Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1982, p.95-162.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a **Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, 1997. 319p

MARTINS, A. P. LANG; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.

MEDINA, C. New and Improved Methods for Determining Nutrient Release Characteristics of EFFs. IFA International Conference on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Miami, **International Fertilizer Industry Association**, Paris, France. (2010).

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio: magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999.

MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B.; DIONÍSIO, J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: edição do autor, 2007. 246 p.

NAKAZONO, E. M. et al. Early growth of *Euterpe edulis* Mart. in different light environments. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 173-179, 2001

NASCIMENTO, C. A. C. **Ureia recoberta com S, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2012. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

OLIVA, E. V.; REISSMANN, C. B.; GAIAD, S.; STURION, J. A.; OLIVEIRA, E. B. de; WISNIEWSKI, C.; MIAQUI, D. P. Composição química foliar de macronutrientes em procedências de erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: CONGRESO SUDAMERICANO 4; REUNIÓN TÉCNICA 4 E EXPOSICIÓN DE AGRONEGOCIOS DE LA YERBA MATE 2, 2006, Posadas. **Actas...** Posadas, Misiones, 2006. p. 285-289.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

QUADROS, R. M. B.; REISSMANN, C. B.; ADOMSKI, M. I. Comparação dos teores de macro e micronutrientes em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), St. Hil.), em ervais nativos sob condições de sombreamento e a céu aberto. In: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1., 1992, Porto Alegre. **Programa e resumos**. Porto Alegre: FAPERGS: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1992. p. 30.

RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R.; DEDECEK, R.A.; NIETSCHKE, K.; RADOMSKI, M.I. Influência da luminosidade sobre os teores de macronutrientes e taninos em folha de erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA-MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA-MATE, 3, 2000, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: Comissão dos Organizadores, Universidade do Rio Grande do Sul, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 417-420

RADOMSKI, M. I.; SUGAMOSTO, M. L.; GIAROLA, N. F. B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva mate nativa. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, Ed. Especial, p. 453-456, 1992

RAMAIAH PK, RAO MVK, **Chokkanna NG Zinc deficiency and aminoacids of coffee leaves**. Turrialba 14:136-139. 1964.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O da; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Sivicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). Curitiba, 1985, **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p. 128-139.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; DE QUADROS, R. M. B.; RADOMSKI, M. I. Production and foliar N, P, K, Ca and Mg levels in erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) related to increasing base saturation levels. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 241-249, 1997.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná state. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 187-194, 1999.

REISSMANN, C. R.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Relação entre os teores e a fração hidrossolúvel dos elementos K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn e Al em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 37, n. 4, p. 959-971, 1994.

REITZ, R.; KLEIN, R.M. E REIS, A. 1978. **Projeto madeiras de Santa Catarina**. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí. 320p.

ROBASSA, J. C. **Caracterização química de três morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Latossolo Vermelho Escuro Álico na região de Ivaí – Pr.** Curitiba, 2005. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

RODIN, L.E.; BAZILIVIC, N.I. **Production and mineral cycling in terrestrial vegetation**. Edinburgg: Oliver and Boyd, 1967.
ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; BOGNOLA, I. A.; WESTPHALEN, D. J.; MILANI, J. E. de F. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 85 - 96, jan. / mar. 2015.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; REISSMANN, C. B.; GROSSI, F.; RAMOS, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 491-500, jul./set. 2011.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; BOGNOLA, I. A.; WESTPHALEN, D. J.; SOARES, P. R. C.; BARROS, L. T. S. Fertilização de liberação lenta no crescimento de mudas de paricá em viveiro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 227-234, jul./set. 2013a.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; BASSACO, M. V. M.; MILANI, J. E. de F.; BIANCHIN, J. E. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 93-104, jan./mar. 2013b.

ROSSA, Ü. B.; ANGELO, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; UTIMA, A. Y.; MILANI, J. E. de F.; MONZANI, R. M. Fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de *Gallesia Integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista Agrocientífica**, v. 1, p. 23-32, 2014.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; BASTOS, M.C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C.B.; BRONDANI, G.E.; BARROS, N.F. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, v. 23, n.2, p. 363-375, 2013.

SANTIN, D. et al. Effect of potassium fertilization on yield and nutrition of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1469-1477, 2014.

SANTIN, D. et al. Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 55-66, 2013b.

SHAVIV, A. Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled N fertilizers. In: Progress in Nitrogen **Cycling Studies**. O. Van Cleemput et al. (eds.).1996: 285-291.

SOUZA, J. L. M.; ARAUJO, M. A. de; REISSMANN, C. B.; MACARRI JÚNIOR, A.; WOLF, C. S. Teores de nutrientes foliares em plantas de erva-mate em função da posição e orientação geográfica da copa, em Guarapuava-PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 49-58, 2008.

STARK, N. **The nutrient content of plants and soil from Brazil and Surinam**. Biotropica, Washington, v. 2, n. 1, p. 51-60, 1970.

STEEL, ROBERT G. D., AND JAMES H. TORRIE. Principles and Procedures of Statistics, with Special **Reference to Biological Sciences** [by] Robert G.D. Steel [and] James H. Torrie. New York: McGraw-Hill, 1960.

TARASCONI, L. C. **Erva-mate: biologia e cultura no Cone Sul**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. p. 23-26.

TETTO, A. F; ROSSETO, A; MAZUCHOWSKI, J. Z; GONÇALVES, R. V . Aspectos socioambientais de um SAF de erva-mate com eucalipto e feijão para agricultura familiar. In: VII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2009, Brasília. **Anais...**, 2009.

WALLACE, T. The diagnosis of mineral deficiencies in plant by visual symptoms. London: **Her Majesty's Stationery Office**, 1961. 125 p.

WISNIEWSKI, C.; JINZENJI, F.; CLARO, A. M.; SOUZA, R. M. Exportação de biomassa e macronutrientes com a primeira poda de formação da erva-mate na região de Pinhais-PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 179-186, 1996.

CAPÍTULO III

LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO MINERAL NA PRODUÇÃO DE FITOQUIMÍCOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL

PRODUÇÃO, QUALIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE

CAPÍTULO 3: LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO MINERAL NA PRODUÇÃO DE FITOQUIMÍCOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL

1 INTRODUÇÃO

A prática do cultivo da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil., Aquifoliaceae) em sistema agroflorestal é uma iniciativa de produção para aumentar a segurança de renda do produtor ervateiro, que também utiliza-se do benefício da elevada interação do componente arbóreo na função de sombreamento.

A erva-mate é espécie vegetal nativa da América do Sul, amplamente utilizada por seu potencial industrial na preparação de bebidas, chás e produtos dermocosméticos (DARTORA, 2010). Os chás têm atraído muita atenção nos últimos anos devido a sua capacidade antioxidante e sua abundância na dieta de milhares de pessoas em todo o mundo. É caracterizada por conter compostos com propriedades antioxidantes e estimulantes (GUGLIUCCI, 1996; SCHINELLA *et al.*, 2000). As folhas apresentam substâncias químicas funcionais, como as metilxantinas e os compostos fenólicos, que permitem ampliar o seu uso industrial em diversos produtos, além do tradicional chimarrão (LEPREVOST, 1987). Também são encontradas várias vitaminas do complexo B, C, E, B caroteno, entre outros compostos (BERTÉ, 2011).

Em decorrência das indústrias de outros países sul-americanos e estados brasileiros demandarem a matéria-prima de ervas sombreadas, esse produto apresenta os melhores preços para o produtor (MAZUCHOWSKI e RUCKER, 1996).

O produto colhido de povoamentos de ambientes sombreados tem um "sabor mais suave", em comparação com aqueles expostos diretamente ao sol (DA CRUZ, 2002).

A característica de sabor mais suave está relacionado com a presença de compostos fenólicos e metilxantinas, além de outros compostos presentes nas folhas, e que se relacionam com as técnicas agronômicas de cultivo como adubação e

condição de luz que as plantas são submetidas (ROSSA, 2013; SCHUBERT *et al* 2006).

As metilxantinas e os compostos fenólicos são produtos naturais, conhecidos como metabólitos secundários produzidos pelos vegetais, apresentando funções ecológicas importantes como proteção contra herbívoros e patógenos, ação alelopática, além de agir como atrativos para animais polinizadores (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Dados preliminares dos trabalhos de pesquisa concluíram que a diferença dos teores das substâncias químicas vinculadas ao sabor é devida, principalmente, ao fator luminosidade (RACHWAL *et al.*, 1998).

1.1 PROBLEMA

As variações dos metabólitos secundários podem ser decorrentes do desenvolvimento foliar e/ou surgimento de novos órgãos concomitante a uma constância no conteúdo total. Alguns dos fatores como desenvolvimento e sazonalidade; índice pluviométrico e sazonalidade; temperatura e altitude; luminosidade e adubação, podem influir em conjunto no metabolismo secundário (SPRING *et al.*, 1987; HENDRIKS *et al.*, 1997).

A adição de nutrientes e a intensidade de luminosidade influenciam a produção de diferentes metabólitos secundários, e o impacto de mudanças em sua disponibilidade pode afetar as propriedades do produto erva-mate. Apesar da reconhecida influência no desenvolvimento vegetal, poucos estudos mostram as relações.

1.2 JUSTIFICATIVA

A composição química da erva-mate pode variar em função de diversos fatores, como o tipo de cultivo, clima, condições agronômicas, idade da planta e variabilidade genética (MAZZAFERA, 1994; DA CROCE, 2002; SCHERER, *et al.*, 2002), que envolve diferentes formas de condução da cultura ao campo que podem modificar sua composição qualitativa e quantitativa e, conseqüentemente, a atividade dos compostos bioativos como metilxantinas e compostos fenólicos. Gobbo Netto e Lopes (2007) destacam os nutrientes e a luminosidade como fatores importantes de influência no conteúdo de metabólicos secundários das plantas.

A obtenção de novos produtos derivados da erva-mate estimula a atividade agrícola ervateira, aumentando a demanda pelo produto e também a rentabilidade para toda a cadeia produtiva da (BERTÉ, 2011). Este produto seria capaz de agregar elementos nutricionais e antioxidantes de grande relevância à dieta humana, aumentando a oferta de novos produtos e sabores com erva-mate, popularizando seu consumo.

1.3 HIPÓTESE

Três hipóteses foram levantadas:

A luminosidade aparente e adubação mineral alteram a formação das proteínas nas folhas de erva-mate;

A adição de nutrientes pela adubação mineral e o sombreamento potencializam o teor dos compostos fenólicos totais nas folhas de erva-mate;

A adição de nutrientes pela adubação mineral e o sombreamento potencializam o teor da metilxantinas totais em folhas de erva-mate.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Acurar o efeito integrado entre as faixas de luminosidade e adubação mineral nos teores de proteínas, compostos fenólicos e metilxantinas em folhas de erva-mate.

1.4.2 Objetivos Específicos

Quantificar o teor de proteínas totais presentes nas folhas de erva-mate;

Analisar por espectrofotometria os compostos fenólicos totais (ácido cafeico, ácido 5-cafeoilquínico, rutina) presentes nas folhas da erva-mate;

Analisar por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) as metilxantinas totais (cafeína, teobromina e teofilina) presentes nas folhas de erva-mate.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ERVA-MATE

A erva-mate possui em sua composição alcaloides (cafeína, teofilina e teobromina), compostos fenólicos, vitaminas A, B1, B2, C e E, sais minerais (alumínio, cálcio, fosforo, ferro, magnésio, manganês e potássio), proteínas (aminoácidos essenciais) glicídeos (frutose, glicose, rafinose e sacarose), lipídeos (óleos essenciais e substâncias ceráceas), além de celulose, dextrina e gomas (BARBOZA, 2006; JUNIOR, 2006; FRIZON, 2011).

Esses compostos são divididos em dois grupos, metabólitos primários e secundários. Os metabólitos primários exercem a função ativa nos processos de fotossíntese, respiração e assimilação de nutrientes enquanto os metabólitos secundários apresentam distribuição estando intimamente associados às estratégias de defesa das plantas e envolvidos na produção de cor ou aroma que atraem insetos polinizadores ou animais que espalham seus frutos (RAVEN *et al.*, 2001; SANTOS, 2004).

A biossíntese de metabólitos secundários está intimamente relacionada às condições ambientais como temperatura, disponibilidade hídrica e de nutrientes, radiação ultravioleta, altitude, poluição atmosférica, indução por estímulos mecânicos ou ataque de patógenos e de diferentes espécies, idade das árvores, tempo de colheita, sistema de cultivo, solo, processo de produção e estocagem (LIN *et al.*, 1998; ESMELINDRO *et al.*, 2002; GOBBO-NETO e LOPES, 2007).

Estas condições promovem alterações tanto em rotas de síntese e degradação de compostos quanto na expressão gênica em resposta a algum tipo de estresse (WILT; MILLER, 1992; BADI *et al.*, 2004), promovendo alterações no crescimento e na quantidade ou qualidade dos compostos secundários produzidos pelos vegetais (BADI *et al.*, 2004).

A luz desempenha um papel importante na regulação de inúmeras enzimas cloroplastídicas, podendo, quando em excesso, desencadear distúrbios nos processos associados às atividades fotossintéticas. A alta intensidade de luz pode, em condições aeróbicas, catalisar a geração de espécies reativas de oxigênio,

altamente danosas à integridade e funcionalidade celular (BARBER e ANDERSSON 1992, OLIVEIRA, 2002).

Existem três grandes grupos de metabólitos secundários: a classe dos terpenos, que incluem os óleos essenciais, a classe dos compostos fenólicos, que envolve os taninos, flavonóides e ácidos fenólicos e a classe dos alcalóides, onde se encontram as metilxantinas (RAVEN *et al.*, 2001).

Na agricultura, a adição de nutrientes é geralmente empregada para aumentar a produção de biomassa. No entanto, os nutrientes afetam não somente o metabolismo primário, mas também influenciam a produção de diferentes metabólitos secundários, e o impacto de mudanças em sua disponibilidade na produção de metabólitos secundários foi revista por Gershenzon (1984). Estes efeitos, de certo modo, não são totalmente previsíveis; tendências podem ser reconhecidas, mas não é possível estabelecer regras sólidas e estáveis (WATERMAN, 1989).

2.1.1 Proteína Total

As proteínas são macromoléculas, constituídas por uma ou mais cadeias de resíduos aminoácidos. São compostos essenciais dos organismos e participam em praticamente todos os processos celulares. As principais proteínas foliares são cloroplásticas que asseguram a captura e a transferência dos fótons onde acontecem as reações primárias da fotossíntese (SANKARANARAYANAN *et al.*, 2001).

Diversas propriedades funcionais dos alimentos de origem vegetal têm sido estudadas e descritas, mostrando a relação de frutos, folhas e sementes e a atividade antioxidante. Recentemente, a utilização de proteínas com capacidades antioxidantes tem atraído pesquisas (CHUIU *et al.*, 1997; ZHAO *et al.*, 2004).

Estas proteínas, derivadas de alimentos podem ter efeitos benéficos sobre a saúde humana, como foram relatadas a utilização de proteínas purificadas ou extratos naturais de proteínas como antioxidantes a proteína de soja, cogumelo, milho, batata e inhame (ZHAO *et al.*, 2004).

2.1.2 Classes dos Compostos Fenólicos

Os antioxidantes podem ser definidos como substâncias capazes de retardar ou inibir a oxidação de substratos oxidáveis, podendo ser enzimáticos, ou não enzimático (SILVA, 2007). Dentro da ingestão diária de antioxidantes, se destacam os compostos fenólicos. Esta propriedade redoxi-ativa está associada à presença de agrupamentos hidroxilas nestes compostos. A eles são atribuídas diversas propriedades biológicas tais como anti-inflamatórias, antibióticas, antitrombóticas, antimicrobianas, antialérgicas, antitumorais, antiasmáticas e antioxidantes (TRUEBA e SANCHEZ, 2001; MORAIS *et al.*, 2009).

Diversos autores relatam que a maior parte da atividade antioxidante da erva-mate é devido aos compostos polifenólicos presentes nesta, sendo que o potencial da atividade antioxidante não depende somente da quantidade, mas também do tipo destes compostos (HEINRICHS e MALAVOLTA, 2001; VIEIRA *et al.*, 2009; MORAIS *et al.*, 2009, RAKOCEVIC, 2010).

Estudos têm mostrado que estímulos decorrentes do ambiente, no qual a planta se encontra, podem redirecionar a rota metabólica, ocasionando a síntese de diferentes compostos. Segundo RAKOCEVIC *et al.* (2009) em seu estudo, as folhas das plantas cultivadas em monocultura mostraram menos amargura do que as cultivadas no sub-bosque. Esta conclusão foi em frente ao paradigma convencionalmente aceito das indústrias de erva-mate.

Em ambientes com excesso de luz, a produção de compostos fenólicos é maior, pois eles protegem a planta, absorvendo o excesso de raios ultravioleta. O aumento na intensidade luminosa eleva os teores de compostos fenólicos em diversas plantas (DUDT; SHURE, 1994). Ainda, concluíram que a diferença dos teores das substâncias químicas vinculadas ao sabor é devida, principalmente, ao fator luminosidade (MAZZAFERA, 1994; RACHWAL *et al.*, 1998).

2.1.3 Classe das Metilxantinas

As metilxantinas são consideradas como pseudoalcaloides, por serem originadas de bases purínicas, com caráter anfótero. Consideram-se as metilxantinas como alcaloides verdadeiros, devido sua atividade biológica e presença do nitrogênio heterocíclico (RATES; SIMÕES, 2004).

São compostos de interesse devido às propriedades farmacológicas, como estimulantes do sistema nervoso central, responsáveis pela inibição do sono e diminuição da sensação de fadiga (VALDUGA, 1995). As principais metilxantinas são a cafeína, a teobromina e a teofilina (GNOATTO *et al.*, 2007).

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) é um composto orgânico de sabor amargo, sendo a mais importante e abundante xantina da erva-mate. A cafeína é a droga psicoativa mais utilizada no mundo. Esse alcaloide pode ser encontrado naturalmente nas folhas de chá verde, nos grãos de café, cacau, noz de cola, guaraná e nas folhas de erva-mate (SIMOES *et al.*, 2001).

Para Esmelindro *et al.* (2004) os teores de metilxantinas de folhas que recebem baixa intensidade luminosa apresentam maiores teores, do que as de maior intensidade luminosa. Mas, em uma pesquisa recente, Dartora *et al.* (2011) concluiu que as folhas cultivadas sob o sol têm o teor maior de princípios biologicamente ativos (derivados cafeoil, cafeína, teobromina e rutina), quando comparado com as cultivadas na sombra.

Os metabólitos secundários representam uma interface química entre as plantas e o ambiente circundante, o que torna sua biossíntese frequentemente afetada por condições ambientais (KUTCHAN, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no município de Guarapuava-PR, em um sistema agroflorestal de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) com eucalipto (*Eucalipto grandis* Hill (ex Maiden), localizado na Fazenda São José (Figura 1.1), a 25° 23' 36" de latitude sul, 51°27'19" de longitude oeste, 1110 m s.n.m. de altitude e distância de 286 km de Curitiba.

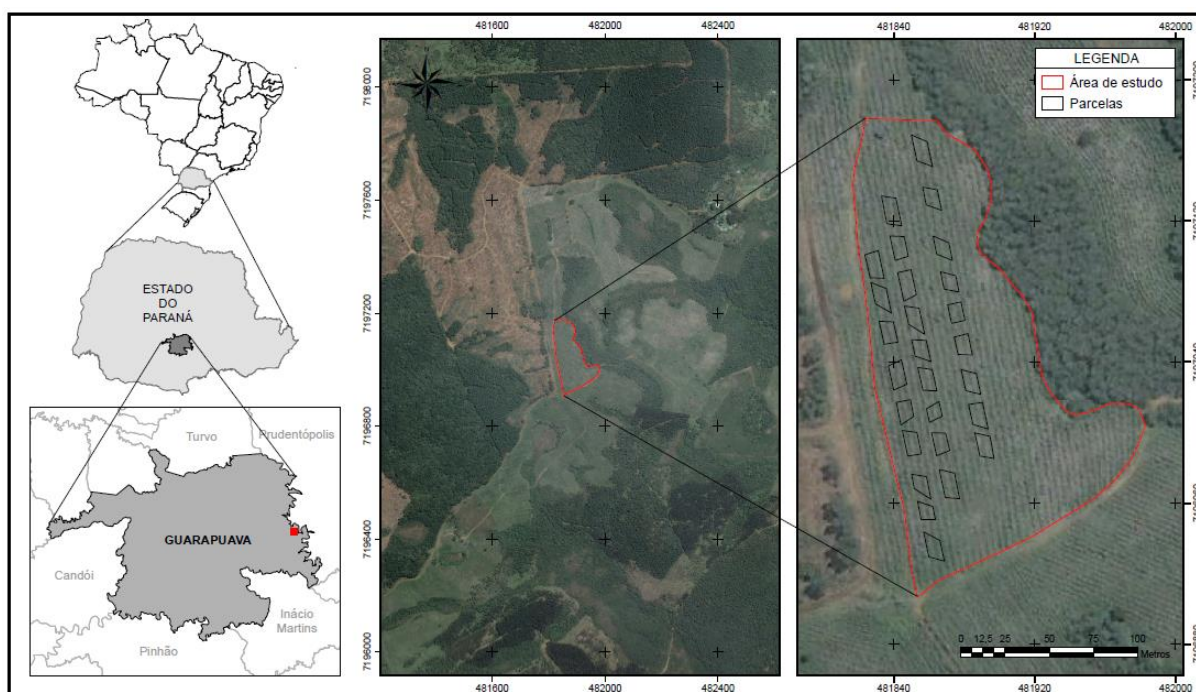


FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA
 FONTE: GOOGLE EARTH (2013), adaptado por ROSSA (2013)

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA

Na Fazenda São Jose as mudas de erva-mate do sistema agroflorestal, originalmente foram plantadas a pleno sol, no decorrer dos últimos 30 anos e vem sendo implantando desde o ano de 2000 o sistema de plantio de erva-mate com

eucalipto com a assistência técnica da Embrapa Florestas, IAPAR e UFPR (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2002 implantou-se SAF de erva-mate com eucalipto e feijão. A implantação deste sistema nos ervais de 10 anos de idade com plantio intercalar de eucalipto foi gradual. As mudas de eucalipto foram produzidas no viveiro florestal da empresa SCHIER, com sementes de matrizes do material genético da propriedade. Não foi efetuada adubação na cova e nem de cobertura nos anos posteriores à implantação. O corte da erva-mate é realizado anualmente, nos meses de maio a agosto, obtendo-se uma produtividade média por árvore de 5 quilogramas de folhas de erva-mate verde a cada ano (TETTO *et al.*, 2009).

O plantio de eucalipto foi realizado na linha da erva-mate visando facilitar os tratamentos culturais do SAF, bem como, as futuras retiradas de árvores manejadas dentro do erval, com o intuito de manter o processo de manejo da sombra. Efetuou-se adubação no plantio a base de 50 gramas de fosfato natural reativo por árvore. A espécie de eucalipto utilizada foi o *Eucalipto grandis* Hill (ex Maiden). Após o 1º ano, efetuou-se anualmente a desrama de forma a deixar uma altura de até 3 metros sem ramos sobre as erva-mates (TETTO *et al.*, 2009).

O espaçamento original do eucalipto foi de 4 x 1,5 metros (cerca de 1.700 plantas por hectare no ano de instalação), com cortes parciais aos 2 e 3 anos, reduzindo 67% da população original. No 4º ano modificou-se o espaçamento passando para 4 metros entre árvores na linha e 6 metros entre ruas, totalizando 416 plantas/ha (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2010 Rossa (2013) alterou os espaçamentos dos eucaliptos, com 6 anos, modificando de duas maneiras: a primeira com 10 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 125 plantas/ha e a segunda com 20 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 63 plantas/ha. Esse novo desenho do sistema agroflorestal foi conduzido com adubação e avaliado durante os anos de 2011 e 2012. Os resultados desse período foram utilizados na pesquisa sob estudo para a composição dos resultados.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A análise de aspectos litoestratigráficos da área revela rochas ígneas da Formação Serra Geral e na Formação Botucatu, ambas do Grupo São Bento, formadas durante a era mesozoica (FIGURA 1.2b). Oriundo dos derrames de vulcanismo de fissura continental, que recobriram o arenito Botucatu regional exposto na escarpa que separa o segundo do terceiro planalto paranaense (ROSSA, 2013).

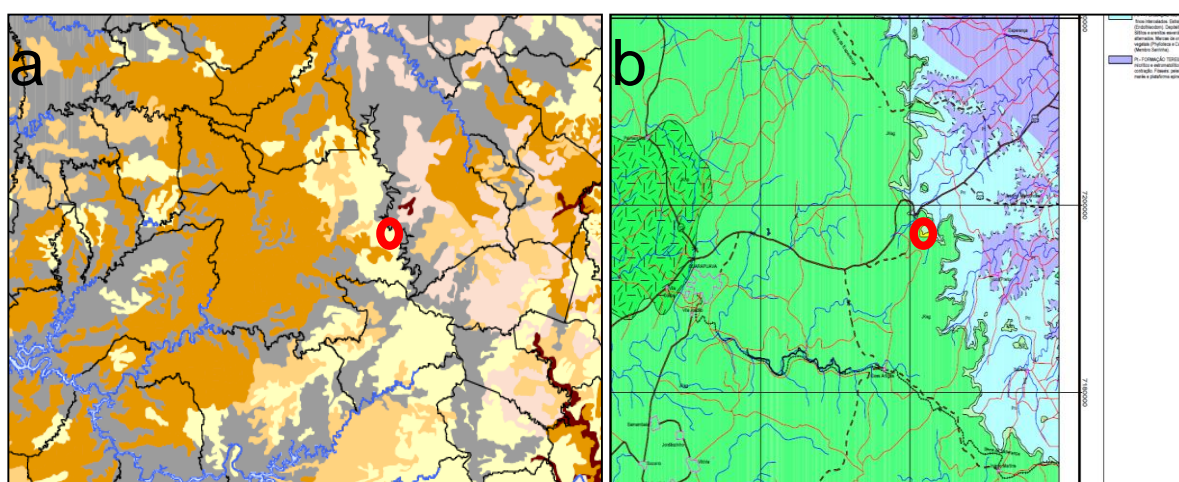


FIGURA 1.2 – MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

Segundo classificação climática de Köppen (IAPAR, 1994), na área experimental ocorre clima subtropical úmido, mesotérmico (FIGURA 1.2a), com média do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca, verão brando, geadas severas demasiadamente frequentes.

A vegetação original da área é composta pela Floresta Ombrófila Mista (FOM) chamada popularmente de Mata com Araucárias, ou ainda pinhal (GUERRA *et al.*, 2002), por ter como constituinte principal a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze que, pelo seu porte e densidade se destaca das demais espécies na formação. Os limites altimétricos das formações da FOM no sul do Brasil determinam sua classificação em Altomontana. Segundo IBGE (1992), a formação Altomontana inclui tipologias que ocorrem acima de 1.000 m s.n.m, caso da área experimental do presente estudo que está situada na faixa de Floresta Ombrófila Mista Altomontana (FIGURA 1.3b),

existindo a presença de remanescentes de vegetação em estágio de desenvolvimento regenerativo secundário.

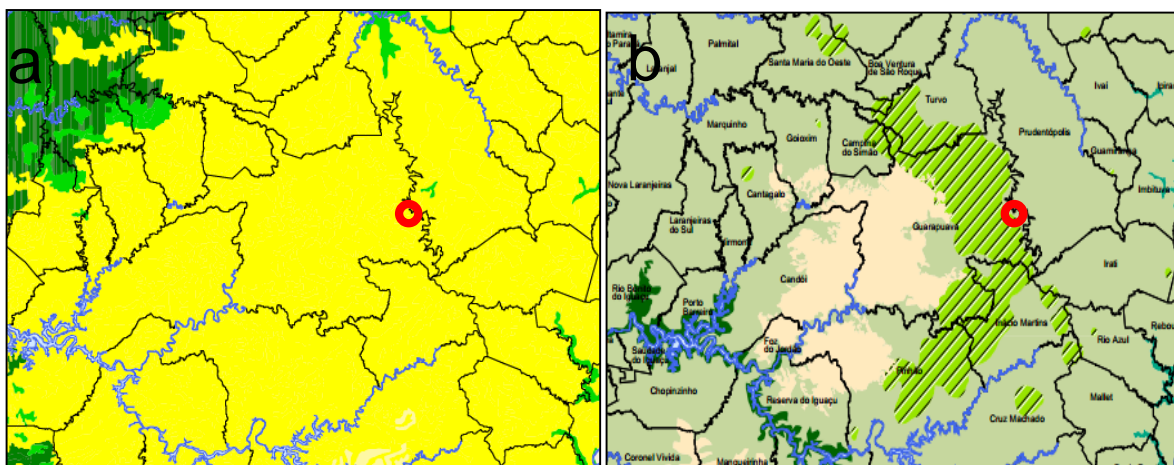


FIGURA 1.3 – MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

3.4 SOLO

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Álico típico pouco profundo textura argilosa (de 80-100 é muito argilosa) cascalhenta A proeminente (EMBRAPA, 2006). O mapeamento parcial é apresentado na FIGURA 1.3 a, enquanto suas características químicas e físicas, em 5 diferentes profundidades são apresentadas nas Tabelas 1.1 e 1.2, respectivamente.

TABELA 1.1 – DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Prof. (cm)	pH		Al ⁺ ₃	H ⁺ Al ³⁺	Ca ⁺ ₂	Mg ⁺ ₂	K ⁺	SB	T	P	C	V	M
	CaCl ₂	SM P	----- cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
0 – 20	4,24	4,79	2,0	14,57	2,3	1,6	0,09	3,96	18,53	1,9	42,1	21	34
20 – 40	3,94	4,54	3,9	18,17	1,1	0,6	0,07	1,76	19,92	5,2	39,8	9	69
40 – 60	4,08	4,86	2,2	11,60	0,1	0,1	0,02	0,26	11,85	1,2	19,4	2	89
60 – 80	4,15	5,24	1,2	8,74	0,1	0,0	0,01	0,07	8,81	0,3	12,7	1	95
80 – 110	4,41	5,32	0,3	8,24	0,8	0,0	0,01	0,84	9,07	0,2	14,0	9	25

FONTE : Rossa (2013)

A saturação por bases do solo (V) é baixa sendo um solo epidistrófico (ele é distrófico apenas no A e álico nos demais horizontes), sendo bastante ácidos e de

fertilidade baixa. Com saturação por alumínio do solo (M) alta (álco) pobre em cálcio com alto teor de alumínio (MALAVOLTA, 2006).

TABELA 1.2 – TEXTURA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia fina	Argila	Silte
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 – 20	73	74	600	253
20 – 40	74	95	580	251
40 – 60	94	73	600	233
60 – 80	118	70	560	252
80 – 110	48	48	700	204

FONTE: Rossa (2013)

3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

3.5.1 Luminosidade Aparente

As determinações de iluminância (NBR ISO/CIE 8995- ABNT) foram efetuadas com a utilização do aparelho luxímetro digital portátil 0 a 200.000 Lux.

Para calcular o índice de luminosidade aparente mediu-se a intensidade de luz a campo aberto, mantendo o luxímetro no plano horizontal a uma altura aproximada 2 metros, relacionando com a intensidade lumínica de cada parcela, para definição das faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30% correspondente a iluminância observada no campo aberto.

Para estabelecimento das faixas de intensidade de luz de cada parcela registrou-se com o luxímetro na face norte da parte superior da copa das 10 plantas uteis de erva-mate nos horários das 9, 12 e 15 horas, durante 3 dias consecutivos.

A partir da observação de iluminancia máxima nas parcelas sem eucaliptos - faixa média de 60% - foi estabelecido as faixas de menor intensidade de luz de 45 e 30%, nas parcelas com eucalipto. Foram realizadas podas nos eucaliptos durante o período de realização do experimento para manutenção dos níveis de intensidade de luminosidade aparente pré estabelecidas de 45% e 30%.

As leituras de intensidade de luz foram realizadas na primeira semana imediatamente após o início de cada estação do ano (verão, outono, inverno, primavera).

Os dados de iluminância levantados referem-se à intensidade de luz difusa média existente em cada parcela, estabelecendo-se as faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30%, medindo-se a Iluminância em Lux (Lx) - que equivale a 1 lúmen por metro quadrado - considerando-se a média da iluminância detectada durante as estações de primavera, verão, outono e inverno nos anos de 2011 a 2015.

3.5.2 Adubação

As erveiras foram adubadas quimicamente com adubo convencional de pronta solubilidade e adubo de liberação controlada com diferentes formulações, conforme segue QUADRO 1.1.

	Convencional ¹	Liberação Controlada ²
Ano	2011/ 2012/ 2013/2014/2015	2011/ 2012/ 2013/2014/2015
Formulação	15% de N; 05% de P ₂ O ₅ e 30% de K ₂ O	15% de N, 8% de P ₂ O ₅ e 12% de K ₂ O

QUADRO 1.1- PERÍODO E FORMULAÇÃO

¹Marca Nitrobrás

²Marca Basacote

No período de 2011 a 2015 as erveiras foram adubadas em duas diferentes tecnologias. A adubação convencional de pronta solubilidade foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em duas vezes por ano (setembro e dezembro), totalizando 10 aplicações. A dosagem foi de 100g por árvore de erva-mate para cada aplicação, na formulação 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O. A dose seguiu recomendação técnica dos fabricantes, sendo utilizado a metodologia de arruação circular de 20cm na projeção das copas (FIGURA 1.4).

A adubação de liberação controlada foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em uma vez por ano (setembro), totalizando 5 aplicações. A dosagem foi de 30g por árvore de erva-mate para cada aplicação, na formulação 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O, sendo utilizado a metodologia de 3 covas de 20 cm de profundidade, abertas na projeção da copa (FIGURA 1.5).



FIGURA 1.4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)



FIGURA 1.5 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O esquema experimental utilizado foi blocos casualizados, com 9 tratamentos nos blocos em 3 repetições, totalizando 27 parcelas de 180m² em média, com 10 plantas úteis de erva-mate por parcela e bordadura dupla de aproximadamente de 20 metros.

Os tratamentos foram constituídos de maneira a representar o sistema agroflorestal contínuo, por estarem em alinhamento, onde o componente arbóreo eucalipto entrou com função de produzir sombra, sendo correspondente a 45% e 30% da intensidade a campo aberto. Nas erveiras sem o componente arbóreo eucalipto, a iluminância foi correspondente a 60% da intensidade a campo aberto.

Os tratamentos com a faixas de luminosidades foram combinados com diferentes adubações, tendo sem adubação nas erveiras NA, com adubação mineral convencional de pronta solubilização AC e adubação mineral de liberação controlada ALC.

Desta maneira os tratamentos foram:

T1- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T2- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O;

T3- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O.

A configuração das parcelas T1, T2 e T3 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.6).

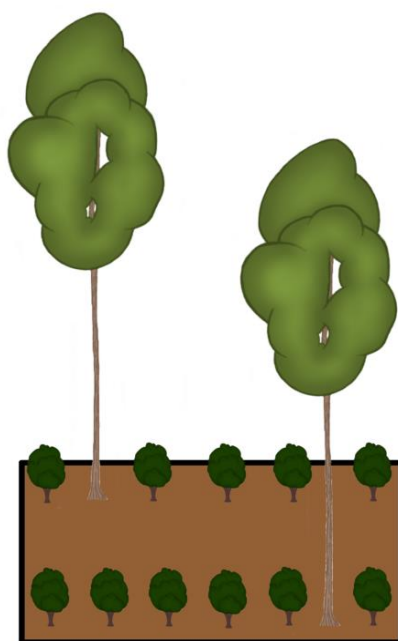


FIGURA 1.6 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3
FONTE: Autor, 2016

T4- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T5- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P_2O_5 e 30% de K_2O ;

T6- erva-mate (2m x 4m), sem eucalipto, com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 60% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O ;

A configuração das parcelas T4, T5 e T6 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.7).

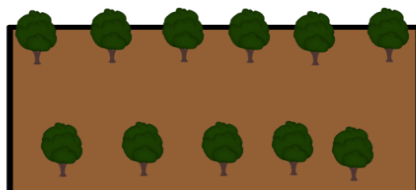


FIGURA 1.7 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T4, T5 E T6
FONTE: Autor, 2016

T7- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T8- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P_2O_5 e 30% de K_2O ;

T9- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O .

A configuração das parcelas T7, T8 e T9 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.8).

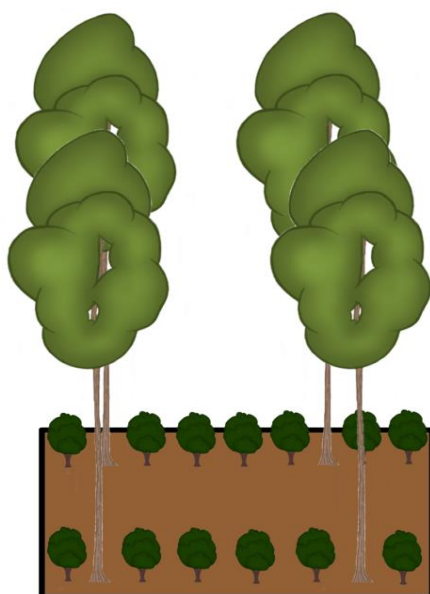


FIGURA 1.8 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9
FONTE: Autor, 2016

A seleção das plantas úteis de cada parcela foi definida pela fórmula de Steel (STEEL; TORRIE, 1960), resultando 10 plantas dominantes por parcela, dentre as 20 plantas passíveis de utilização. No croqui da Figura 1.9 é possível verificar o esquema de distribuição dos blocos e tratamentos. Além da configuração da bordadura de cada tratamento e bloco. Para a avaliação da produtividade das erva-mates todas as 10 plantas úteis de cada parcela foram consideradas.

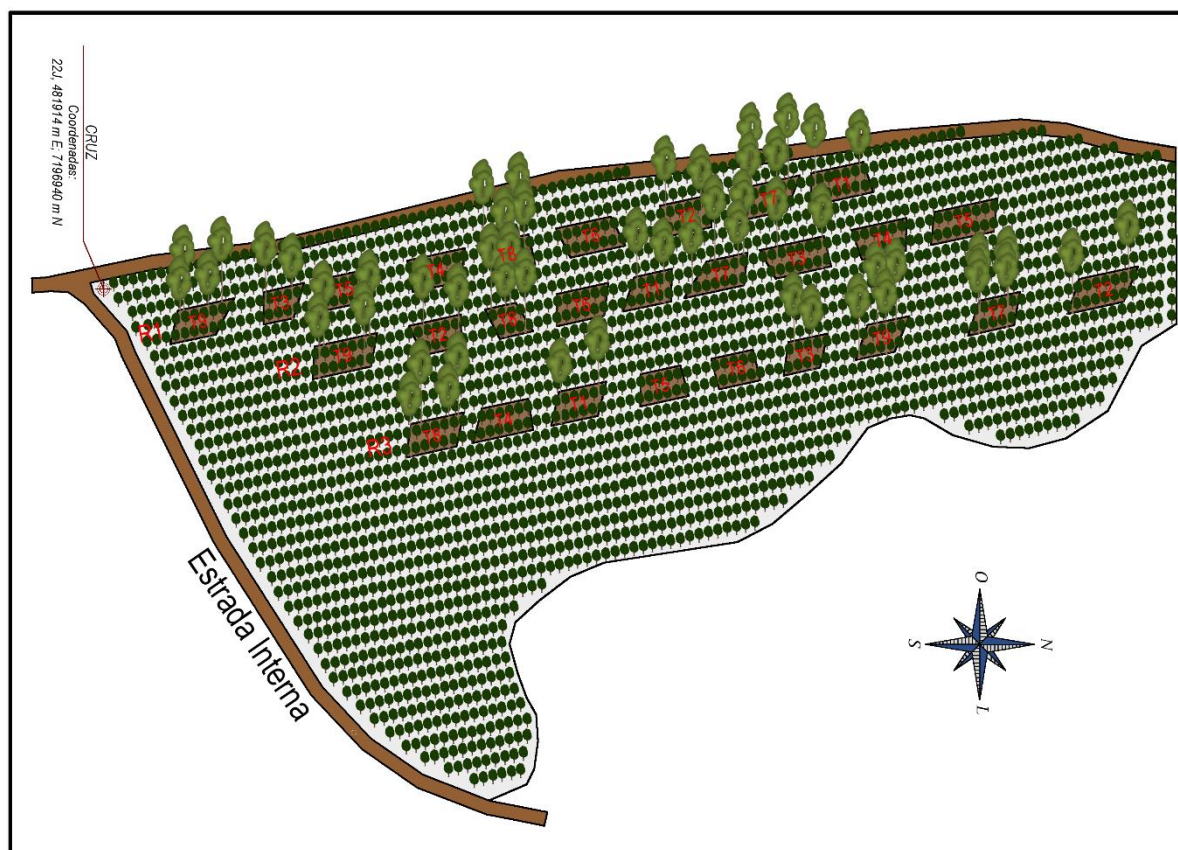


FIGURA 1.9 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM ESPAÇAMENTO ESPECÍFICO PARA A ÁREA
 FONTE: Autor, 2016

As plantas da área útil foram etiquetadas, sendo consideradas individualmente para a coleta de dados nos blocos e tratamentos. A pesquisa foi conduzida durante 5 anos, contados a partir de 2011 até 2015.

3.7 COLETA DAS FOLHAS

Para analisar as folhas de erva-mate as coletas foram realizadas na época de poda, ou seja, no inverno antes de ocorrer a nova brotação. As folhas estavam maduras e a erva-mate em repouso fisiológico. Durante as três estações de crescimento 2013/2014 e 2015, foram coletadas das 10 plantas úteis 100 folhas do terço médio da planta, limitando-se ao terço médio do ramo e na orientação geográfica norte (REISSMANN *et al.*, 1999).

As folhas foram triplamente lavadas com água corrente deionizada e submetidas à secagem em forno micro-ondas (potência útil de 1100 W (máxima), frequência de 2450 MHz (operação), consumo de 1,6 kW/hora, velocidade do prato giratório de 3 rpm), em 2 ciclos de 2 minutos e 1 ciclos de 1 minuto até atingir peso constante. A secagem rápida das folhas de erva-mate por forno micro-ondas é necessária para evitar a degradação e alterações químicas por oxidação dos tecidos, que pode ocorrer em método de secagem lenta por estufa de ar forçada, alterando a composição química do material seco (HORSTEN *et al.*, 1999; HANSEL *et al.*, 2008).

Após a secagem das folhas, realizou-se a moagem das amostras em moinho com câmara de aço inoxidável tipo Willey, equipado com peneira de 0,5 mm, visando a obtenção de material fino e homogêneo. Após trituração as amostras foram acondicionadas em sacos de polipropileno e armazenadas em freezer até o momento das análises.

3.8 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE PROTEÍNAS

A quantificação foi realizada conforme método micro-Kjeldahl (BRASIL, 2005), que baseia-se no aquecimento da amostra com ácido sulfúrico e catalisador para a digestão até que o carbono e o hidrogênio sejam oxidados. O nitrogênio da proteína é reduzido e transformado em sulfato de amônia. Adiciona-se NaOH concentrado e aquece-se para a liberação da amônia dentro de um volume conhecido de uma solução de ácido bórico, formando borato de amônia. O borato de amônia formado é dosado com uma solução de ácido clorídrico (HCl 0,1N).

3.9 QUANTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

A extração foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Dutra *et al.* (2010). Consistiu em adicionar 100 mL de solução água:etanol 1:1 (v/v) em 2 g de erva-mate mantida por 12 horas, a temperatura ambiente. Seguem-se três extrações

com 25 mL da solução hidro-etanólica a 50% sob refluxo por 30 min. cada e em seguida filtrado.

O conteúdo de CFT foi determinado espectrofotometricamente pelo método de Folin-Ciocalteu de acordo com metodologia descrita por Singleton *et al.* (1999). Brevemente 500 µL dos extratos serão misturados a 2,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu (1:10) e 2,0 mL de solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) (4% m/v). Após 120 minutos de reação na ausência de luz e temperatura ambiente, a absorbância foi medida em 740 nm. Como padrão, empregou-se o ácido 5-cafeoilquinico (5CQA), adquirido da marca Sigma, sendo os resultados expressos em mg de 5CQA equivalente/g de amostra.

3.10 QUANTIFICAÇÃO DAS METILXANTINAS

As metilxantinas foram extraídas de 2 g de amostras de erva-mate com ácido sulfúrico em banho-maria, seguido por neutralização com hidróxido de sódio a 40%, conforme metodologia descrita por Dutra *et al.* (2010). Estes foram filtrados em membrana filtrante politetrafluoroetileno (PTFE) de 0,45 µm da Millipore. Os extratos foram diretamente analisados após filtração em filtros (PTFE) com poros de 0,45 µm da Millipore.

Alíquotas de 5 µL da amostra foram injetadas em um cromatógrafo a líquido de alta eficiência (CLAE) da marca Agilent, com sistema automático de injeção (ALS), detector de arranjo diodos (DAD), modelo 1200 séries controlado pelo Software EZ Chrom Elite. Foi utilizada uma coluna Zorbax Eclipse XDB-C18 (4,6 x 150 mm, 5 µm). A fase móvel utilizada foi solvente água/metanol (80:20 vv), com fluxo de 1 mL/min, isocrático. O teor de metilxantinas totais foi calculado somando-se a concentração relativa à área de cada pico identificado como cafeína, teobromina e teofilina caracterizado pelo tempo de retenção e pelo espectro de absorção a 272 nm.

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados em delineamento em blocos completos ao acaso, utilizando modelos mistos, sendo os tipos de adubação (NA, AC, ALC), níveis de luminosidade (60%, 45% e 30%) e suas interações considerados como efeito fixo e os anos, bloco e o resíduo como efeito aleatório, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + T_j + b_k + p_l + (ST)_{ij} + e_{ijkl},$$

onde:

Y_{ijl} = valor observado na parcela que recebeu o tipo de adubo i, o nível de luminosidade j, no ano l;

μ = efeito geral da média;

S_i = efeito fixo do tipo de adubo i;

T_j = efeito fixo do nível de luminosidade j;

b_k = efeito aleatório do bloco k;

p_l = efeito aleatório do ano l;

$(ST)_{ij}$ = interação entre o tipo de adubo i e o nível de luminosidade j;

e_{ijkl} = erro aleatório da parcela que recebeu o tipo de adubo i, o nível de luminosidade j, ano l, bloco k;

A estrutura de covariância foi estimada pelo método da máxima verossimilhança restrita.

Quando observado efeito significativo dos fatores do modelo sobre as variáveis dependentes, as médias foram comparadas pelo teste de Student ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TEOR DE PROTEÍNA

O teor de proteína total foi identificado e quantificado nas folhas de erva-mate submetidas a diferentes faixas de luminosidade e adubação.

Na análise dos dados a estatística aplicada mostrou que houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a luminosidade e a adubação, os resultados são apresentados na (TABELA 1.3).

TABELA 1.3 TEOR DE PROTEÍNA EM FOLHAS DE ERVA-MATE SUBMETIDA A DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO

PROTEÍNA ³ (% BASE SECA)				
TRATAMENTO ²	FAIXA DE LUMINOSIDADE			TESTE F ¹
	60%	45%	30%	0,0001*
NA	16,67 cC	17,29 bB	18,12 aA	CV % ⁴
AC	17,14 bC	18,06 aA	17,60 bB	8,59
ALC	17,67 aA	17,77 aA	17,74 bA	

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

As amostras de folhas dos tratamentos NA, AC e ALC nas diferentes luminosidades de 60, 45 e 30% apresentaram dados médios de 16,67% a 18,12% de proteína total. Consideram altas as médias obtidas, quando comparado com estudos de Barboza (2006) e Esmelindro *et.al.* (2002), cujos valores foram de 11,59 % e 14,49 %, respectivamente.

Na luminosidade de 60%, o teor de proteína foi maior nos tratamentos com ALC (17,67%) e AC (17,14%), quando comparados com o não adubado (16,67%). Na luminosidade de 45%, o mesmo comportamento foi identificado, inferindo que o teor de proteína nas folhas sofre alterações devido à melhoria da fertilidade do solo (DURR e RANGEL, 2000; XAVIER *et.al.*, 2003).

Já, na luminosidade de 30% (TABELA 1.3) a resposta das folhas para o teor de proteína foi maior (18,12%) no tratamento não adubado. Inferindo que a menor faixa de luminosidade aparente nas folhas de erva-mate afetou o comportamento do mecanismo de formação dos agregados de proteína, assim tendo como um benefício a sombra, certificando-se com os estudos de Paciullo *et al.* 2007 e Soares (2009), onde afirmam que plantas sombreadas apresentam melhor qualidade, especialmente maior teor de proteína na lâmina foliar.

O tratamento ALC teve melhor percentual de proteína nas folhas na faixa de luminosidade de 60% e não diferiu estatisticamente da adubação convencional AC na luminosidade de 45%. Na luminosidade de 30%, não obteve-se diferença estatística da adubação convencional AC da adubação de liberação controlada ALC. A ALC não mostrou-se diferente da AC nas luminosidades 45% e 30% e não resultou em maior teor de proteína.

Ervais com luminosidade aparente menor apresentam maior teor de proteína nas folhas e a adubação de pronta solubilidade foi eficiente, quando comparada com a adubação de liberação lenta.

Os dados apresentados no presente trabalho podem ser usados como referência para os produtores e em estudos com erva-mate visando contribuir com informações sobre as características fitoquímicas da espécie em sistemas agroflorestais contínuos na composição multiestratificada.

4.2 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

O teor dos compostos fenólicos totais foram identificados e quantificados nas folhas de erva-mate submetidas a diferentes faixa de luminosidade e adubação.

Os dados médios obtidos (123 mg g⁻¹) (GRÁFICO 1.1) estão um pouco abaixo da literatura, em média de 145 mg g⁻¹, quando comparando com alecrim, macela, alcachofra, sálvia, camomila, capim-limão, malva e com outras espécies do mesmo gênero (CARPES *et al.*, 2006 e BARBOZA, 2006).

Na análise dos dados obtidos não houve interação entre a luminosidade e adubação o que não permite inferir que a intensidade da luminosidade exerce influência significativa ($P < 0.05$) nos teores dos compostos fenólicos. Entretanto,

podemos observar no (GRÁFICO 1.1) um incremento maior do teor dos compostos fenólicos na faixa de luminosidade aparente de 45%, que pode ser justificado pela adubação que apresentou um efeito nos teores (TABELA 1.4).

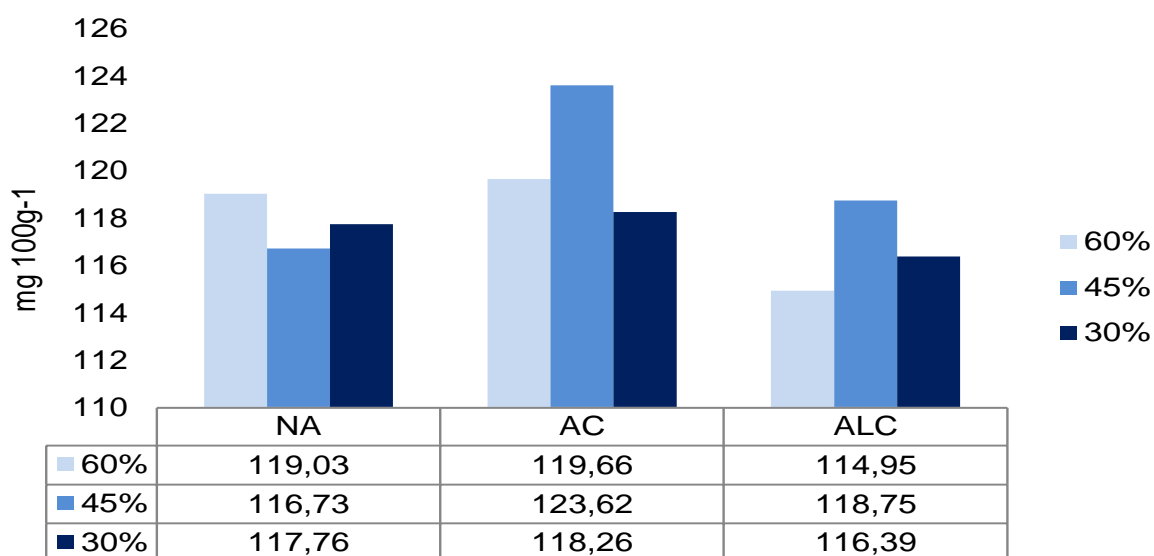


GRÁFICO 1.1 TEORES DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE SUBMETIDA DIFERENTES FAIXAS DE LUMINOSIDADE (60%, 45% E 30%) E ADUBAÇÃO (NÃO ADUBADO NA, ADUBAÇÃO CONVENCIONAL AC E ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA (ALC))

Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos nas diferentes luminosidade, assim discordando com resultados encontrados por diversos autores, que relatam que as plantas com maior exposição à radiação solar, apresentam uma maior concentração de compostos fenólicos (DARTORA, 2010; HECK, SCHMALKO e DEMEJIA, 2008; RACHWAL *et al.*, 2000).

Rakocevic *et al.* (2008) demonstrou que todos os tipos de sombreamento (sombreamento florestal e auto-sombreamento, dentro da copa das plantas cultivadas em monocultura) resultaram em sabor amargo característico das folhas de erva-mate processada, comparadas com as folhas originadas sob a exposição direta ao sol.

Para se proteger, a planta produz compostos antioxidantes, de modo que as plantas expostas diretamente ao sol ou com ataque de pragas contêm um maior nível de ácidos clorogênicos, que são compostos fenólicos encontrados amplamente na *Ilex paraguariensis* (HECK, SCHMALKO e DEMEJIA, 2008).

Na (TABELA 1.4) é apresentado o efeito significativo ($P < 0.05$) da adubação no teor dos compostos fenólicos.

TABELA 1.4 EFEITO DA ADUBAÇÃO NO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM FOLHAS DE ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL

TRATAMENTO ²	COMPOSTOS FENÓLICOS ³ (mg 100g ⁻¹)	TESTE F ¹
NA	117,84 ab	0,0319*
AC	120,51 a	CV % ⁴
ALC	116,70 b	13,78

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

Houve diferença estatística entre os tratamentos, onde a adubação convencional AC obteve o maior teor de compostos fenólicos (120,51 mg 100g⁻¹), quando comparada com adubação de liberação controlada (116,70 mg 100g⁻¹). Entretanto não diferiu estatisticamente com o tratamento não adubado NA.

Os compostos fenólicos possuem átomos de nitrogênio em sua estrutura e correlacionam-se com fatores de estresse, como por exemplo a baixa disponibilidade de N na planta, o aporte nutricional desse nutriente aumenta a concentração dos alcalóides na maioria das espécies estudadas (CEROVIC *et al.*, 1999) e que pode ser justificativa para o resultado obtido no tratamento com adubação AC (TABELA 1.4).

Os compostos fenólicos compõem até 12% do peso seco na erva-mate (SCHNEIDER *et al.*, 2006) indicando sua importância na possível determinação do sabor do produto final. Adicionalmente, a percepção de adstringência da bebida de erva-mate tem sido correlacionada positivamente com o conteúdo de polifenóis totais (SCHNEIDER *et al.*, 2006). Rakocevic *et al.* (2011) apresentam resultados que demonstram que o amargor da bebida correlacionou-se negativamente com o teor de teobromina e cafeína e positivamente com o de glicose e sacarose.

Podemos inferir com os dados obtidos na pesquisa que os níveis de luminosidade 60%, 45% e 30% não alteraram o teor de compostos fenólicos nas folhas. Por outro lado, a adubação convencional de pronta solubilidade, na luminosidade 45%, apresentou efeito positivo no aumento da composição de fenólicos, mas não resultou em diferença significativa quando comparado com o tratamento que não obteve adubo. Segundo Serafim (2013) a erva-mate cultivada em sol mostraram-se com maior concentração de compostos fenólicos que as cultivadas

em sombra em planta fêmea, porém esta diferença não foi observada nas plantas macho.

Para o produtor, a escolha do sistema agroflorestal multiestratificada, com árvores de eucalipto com a função de sombrear as ervaíras, nas faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30%, pode promover bons resultados para atender o mercado consumidor em relação a composição dos fenólicos. A adubação de liberação lenta não demonstrou adição dos teores fenólicos.

4.3 METILXANTINAS TOTAIS

O teor de metilxantinas totais foram identificados e quantificados em folhas de erva-mate submetidas a diferentes faixas de luminosidade e adubação.

Na análise dos dados a estatística aplicada demonstrou que houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a luminosidade e a adubação, os resultados são apresentados na TABELA 1.5

TABELA 1.5 TEOR DE METILXANTINAS EM FOLHAS DE ERVA-MATE SUBMETIDA A FAIXAS DE LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO

LUMINOSIDADE E ADUBAÇÃO				
TRATAMENTO ²	METILXANTINAS ³ (mg g ⁻¹)			Teste F ¹
	FAIXA DE LUMINOSIDADE			
	60%	45%	30%	
NA	1,40 aB	1,49 bB	1,60 aA	0,0037*
AC	1,46 aB	1,59 aA	1,51 aAB	CV% ⁴
ALC	1,45 aB	1,42 bB	1,55 aA	42,77

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

Valores médios na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

(3) Dados 2011 à 2015

(4) CV% coeficiente de variação

FONTE: Autor, 2016

O teor médio obtido de metilxantina totais teve valor máximo de 1,60 mg g⁻¹ e mínimo de 1,40 mg g⁻¹ para o período analisado. Os valores estão abaixo dos relatados na literatura entre 1,77 a 10,37 mg g⁻¹ (SCHUBERT, 2006; COELHO *et al.*, 2007; DUTRA, 2009 e BERTÉ, 2011).

Há evidências de que a época de colheita influencia na concentração das metilxantinas encontradas na espécie, variando entre 1 a 10 mg por grama de

metilxantinas totais, dependendo da época do ano (SCHUBERT *et al.*, 2006), este resultado corrobora com a teoria de que os altos teores de metilxantinas identificados no verão podem ser atribuídos às folhas jovens, em desenvolvimento, sendo que na pesquisa os resultados são referentes ao final de outono e inverno, podem indicar folhas mais velhas, maduras, e com baixa atividade biossintética (ROSSA, 2013).

O conteúdo de metilxantinas também pode estar associado a fatores genéticos e ambientais (SCHUBERT *et al.*, 2006). Dos fatores ambientais, a luz é um dos que se destacam por alterar diretamente ou indiretamente a síntese dos compostos secundários (ZERVOUDAKIS *et al.*, 2012), confirmando os dados obtidos (TABELA 1.5) onde houve diferença entre as luminosidades, a de 30% com maiores teores de metilxantinas (1,60), seguida da luminosidade de 45%(1,59) e 60%(1,46).

Resultados obtidos por Coelho *et al.* (2000) apontam que em folhas mais sombreadas de erva-mate há maior investimento em substâncias químicas de defesa. Entretanto, Rachwal *et al.* (2002) e Silva (2012) não observaram alteração da concentração de metilxantinas na cultura da erva-mate sombreada, até 60% de luminosidade relativa.

Contudo, ainda não existe um consenso sobre a forma como que as condições de radiação afetam a produção dos compostos secundários. Deve-se não somente a complexa relação com a fisiologia vegetal, mas também com as diferentes respostas entre as espécies (YAN; LU; YAN, 2013).

Os tratamentos com adubação AC e ALC não diferenciam estatisticamente do NA na luminosidade de 30% (TABELA 1.5). Na luminosidade de 45% o comportamento foi diferente do tratamento AC diferiu estatisticamente, quando comparado com o NA e ALC. Observou-se que a adubação convencional foi significativa para o aumento dos teores de metilxantinas, que sofreram incremento no decorrer do estudo, onde foram feitas sucessivas adubações, corroborando com os dados de ROSSA (2013), na luminosidade de 45% a adubação convencional de pronta solubilidade provocaram o aumento dos teores de metilxantina totais. Os teores de cafeína no chá-da-índia, por exemplo, aumentam com o crescimento do vegetal e a utilização de fertilizantes nitrogenados (RATES, 1999).

As espécies tolerantes à sombra apresentam uma série de adaptações às condições de sub-bosque, incluindo as suas defesas contra insetos desfolhadores (COLEY, 1987). Coelho *et al.* (2007) verificaram que um aumento acentuado de

cafeína e teobromina ocorre somente a partir de um determinado nível de sombreamento.

Diante dos resultados obtidos pode-se inferir que até a faixa de 45% de luminosidade aparente o sombreamento tende a aumentar as metilxantinas totais na folhas.

5 CONCLUSÃO

O teor de proteína nas folhas de erva-mate foi maior na luminosidade aparente de 30%, 45% e 60% respectivamente.

A adubação convencional de pronta solubilidade aumenta o teor de proteína nas folhas de erva-mate.

As faixas de luminosidade aparentem 60%, 45% e 30% não alteraram os teores dos compostos fenólicos nas folhas de erva-mate.

A adubação mineral na erva-mate não influencia o aumento dos compostos fenólicos nas folhas.

O teor das metilxantinas totais nas folhas de erva-mate potencializa-se até a luminosidade aparente de 45%.

A adubação convencional de pronta solubilidade tem efeito no aumento do teor das metilxantinas totais nas folhas de erva-mate, quando cultivadas na faixa de luminosidade aparente de 45%.

REFERENCIAS

CARPES, S; FERRA, C; DE ALENCAR, S. ASOLINI .A. **Braz. J. Food Technol**, v. 9, n. 3, p. 209-215, 2006.

BARBER, J. & ANDERSSON, B. 1992. Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. **TIBS**, 17: 61-66.

BARBOZA, L. M. V. **Desenvolvimento de bebida à base de erva-mate (Ilex) paraguariensis Saint Hilaire) adicionada de fibra alimentar**. 236 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos)- Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. Edição IV. Instituto Adolfo Lutz. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BURGSTALLER, J.A. 700 **Hierbas Medicinales**, Edicial SA, Buenos Aires, 1994 – CEROVIC ZG, SAMSON G, MORALES F, TREMBLAY N, MOYA I. Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: present state and prospects.**Agronomie: Agriculture and Environment**. 19:543–578, 1999.

CHIU, Y. -C., TZENG, G. -H Journal:**Journal of the Chinese Fuzzy System Association**,v3, No2, pp39-51. 1997.

COELHO, G. C. et al. Effect of light intensity on methylxanthine contents of Ilex paraguariensis A. St. Hil. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.35, n.2, p.75-80, 2007.

COLEY, P. D. Interspecific variation in plant anti-herbivore properties: the role of habitat quality and rate of disturbance. **New Phytologist**, v.106 (1 Supplement) , p.251-263, 1987.

CORRÊA-JUNIOR C; MING LC; SCHEFFER MC. 1994. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2a . ed. Jaboticabal: FUNEP. 162 p

DARTORA, N. et al. UPLC-PDA–MS evaluation of bioactive compounds from leaves of Ilex paraguariensis with different growth conditions, treatments and ageing. **Food Chemistry**,v.129, p.453–1461, 2011.

DARTORA, NESSANA. **Avaliação dos polissacarídeos e metabolitos secundários das folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em diferentes estados fisiológicos e de processamento**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Bioquímicas) – Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

DURR, P.A.; RANGEL, J. The response of *Panicum maximum* to a simulated subcanopy environment. I. Soil x shade interaction. **Tropical Grasslands**, v.34, p.110-117, 2000.

STEEL, ROBERT G. D., AND JAMES H. TORRIE. Principles and Procedures of Statistics, with Special **Reference to Biological Sciences** [by] Robert G.D. Steel [and] James H. Torrie. New York: McGraw-Hill, 1960

ESMELINDRO MC, TONIAZZO G, WACZUK A, DARIVA C, OLIVEIRA D. Caracterização físico-química da erva-mate: Influência das etapas do processamento industrial. **Cien Tecnol Aliment** 2: 199-204. 2002.

ESMELINDRO, M C et al. Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 193-204, 2002.

FRIZON, C, N, T. **Propriedades físico-químicas, sensoriais e estabilidade de uma nova bebida contendo extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) e soja (*glycine max*)**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GERSHENZON, J.; Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. *Rec. Adv. Phytochem.*, 18, 273.1984.

HECK, C. I.; SCHMALKO, M.; DEMEJIA, E. G. Effect of growing and drying conditions on the phenolic composition of mate teas (*Ilex paraguariensis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 8394-8403, 2008.

HENDRIKS, H.; ANDERSON-WILDEBOER, Y.; ENGELS, G.; BOS, R.; The content of parthenolide and its yield per plant during the growth of *Tanacetum parthenium* Woerdenbag, H. J.; **Planta Med.** 1997.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p

OLIVEIRA, J., ALVES, P.L.C.A. & MAGALHAES, A.C. 2002. The effect of chilling on the photosynthetic activity in coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings: The protective action of chloroplastid pigments. **Brazilian Journal Plant Physiology**, 14: 95-104.

PACIULLO, D. S. C et al. Morphophysiology and nutritive value of signalgrass under natural shading and full sunlight. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.

RACHWAL, M. F. G.; COELHO, G. C.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; SCHENKEL, E. P. Influência da luminosidade sobre a produção de massa foliar e teores de macronutrientes, fenóis totais, cafeína e teobromina em folhas de ervamate. Colombo: EMBRAPA CNPFlorestas. **Com. Tec.** 5 p. 2002.

ROSSA, Ü. B. **Produtividade e compostos foliares de erva-mate sob efeitos de luminosidade e fertilização**. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Setor de Floresta, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

RAKOCEVIC, M.; E. P; MEDRADO, M. Sales. Correlação entre as propriedades químicas foliares e o amargor do chimarrão de folhas sombreadas. In: 5º Congresso Sudamericano de la yerba Mate, **ANAIS...**, Posadas. Actas de 5º Congreso Sudamericano de la yerba Mate. Posadas: INYM, 2011. v. 1. p. 213-220

SANKARANARAYANAN R, BUDUKH AM E RAJKUMAR R. Effective screening programmes for cervical cancer in low-and middle-income developing countries. **Bulletin of the World Health Organization** 79, 954–962. (2001).

SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; BASTOS, M.C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C.B.; BRONDANI, G.E.; BARROS, N.F. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, v. 23, n.2, p. 363-375, 2013a.

SANTOS, K. A. **Estabilidade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) em embalagens plásticas**. 109f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2004.
SCHNEIDER, E.; SCHERER, R.; URFER, P.; JANSSENS, M. J. J.; **Anais do 4º Congresso Sudamericano de la Yerba Mate**, Posadas, Argentina, 2006.

SCHUBERT, A et al. Annual variations of methylxanthines in *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil (maté) samples in Ijuí and Santa Maria, State of Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1233-1236, 2006.

SILVA, C. H. B. et al. **Influência da idade das folhas e da luminosidade nos teores de metilxantinas, ácido clorogênico, fenólicos totais e na atividade de captação de radicais livres de extratos aquosos de Ilex paraguariensis A. St. Hilaire.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2012.

SOARES, A. B et al. Influence of luminosity on the behavior of eleven perennial summer forage species. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SPRING, O.; BIENERT, U.; J. Sesquiterpene lactones in glandular trichomes of sunflower leaves. **Plant Physiol.** 130, 441. 10. 1987.

WATERMAN, P. G.; MOLE, S. Em Insect-plant interactions; Bernays, E. A., ed.; 1st ed., CRS Press: **Boca Raton**, 1989, vol. 1, cap. 4.

ZHAO, Zhenwei et al. Burning velocities and a high-temperature skeletal kinetic model for n-decane. **Combust. Sci. and Tech.**, v. 177, n. 1, p. 89-106, 2004.

CAPÍTULO IV

DESEMPENHO PRODUTIVO DO EUCALIPTO E VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA AGROFLORESTAL SUBMETIDO A ADUBAÇÃO

PRODUÇÃO, QUALIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA ERVA-MATE EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE

CAPÍTULO 4: DESEMPENHO PRODUTIVO DO EUCALIPTO E VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA AGROFLORESTAL SUBMETIDO A ADUBAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O sistema agroflorestal surge como alternativa de diversificação na produção ervateira, permitindo o uso dos recursos naturais de maneira mais eficiente. Aliada às crescentes restrições ambientais ao uso de espécies nativas, a grande procura para atender necessidades de diferentes segmentos do setor produtivo tem proporcionado uma demanda crescente por madeiras.

É um sistema sustentável de manejo do solo e de plantas que procura aumentar a produção de forma contínua, combinando a produção de árvores (incluindo frutíferas e outras) com culturas perenes tolerantes à sombra, como café, cacau, cupuaçu, banana, coco, chá preto, erva-mate (ALTIERI, 2002).

De acordo com Huxley (1983), as espécies lenhosas a serem utilizadas em sistemas agroflorestais, devem ter características como adaptação a solos com problemas de fertilidade, boa produtividade, capacidade de rebrota e resistência a podas e doenças.

A presença de espécies lenhosas nos sistemas agroflorestais tem um papel importante por favorecer tanto a produtividade como a sustentabilidade destes sistemas (BEGON, 1990).

Nesse contexto, diversas espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam grande potencial para serem utilizadas em sistemas agroflorestais, onde essas espécies tiveram boa adaptação, por apresentarem versatilidade e rápido crescimento, plasticidade, forma retilínea do fuste, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso (HIGA, 1995; RODIGHERI e GRAÇA, 1996).

O gênero *Eucalyptus* possui espécies adaptadas às práticas silvipastoris, porque tem copas estreitas que permitem a penetração de uma quantidade razoável de luz direta e difusa, facilitando o crescimento de plantas, sempre que o espaçamento for correto e o manejo apropriado.

Os principais motivos relacionados ao sucesso ou insucesso do manejo de povoamentos agroflorestais são os arranjos e o modelo de associação entre as espécies (KAYE *et al.*, 2000).

Existe a necessidade de se avaliar a capacidade produtiva dos componentes envolvidos no sistema agroflorestal, buscando as melhores combinações entre as espécies, bem como os fatores que influenciam a produtividade, uma vez que a competição por água, luz e nutrientes entre os componentes do sistema podem ser fatores limitantes à produtividade (LACERDA *et al.*, 2009 ;VEZZANI *et al.*,2009).

No sistema agroflorestal, o modelo de distribuição das espécies e manejo silvicultural dependem de objetivos específicos, tais como produtividade de madeira, produção agrícola, diversidade estrutural e melhoria na qualidade da madeira (FORRESTER, *et al.*, 2006).

Um aspecto importante é a densidade das espécies no sistema, durante todo o período de convivência, bem como a sincronia de crescimento entre as espécies dos consórcios. Götsch (1995) descreve que o fator crítico e determinante da saúde e das taxas de crescimento, bem como da produtividade do sistema, não era a qualidade inicial do solo, mas sim a composição e a densidade dos indivíduos da comunidade de plantas (GÖTSCH, 1995).

Para o sistema agroflorestal deve ser encontrado um arranjo específico, buscando obter produção de erva com alta qualidade, aliada à melhoria ambiental e socioeconômica das famílias ao longo do tempo com possibilidades de renda e despontando como alternativa promissora aos agricultores.

Há poucas as informações a respeito da análise desses sistemas, que apresentam grande potencial de aplicação, especialmente na região ervateira dos

estados do sul do Brasil, onde são comuns os plantios de *Pinus* spp., bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), acácia (*Acacia* spp) e eucalipto.

O objetivo da maioria dos sistemas agroflorestais é otimizar os efeitos benéficos das interações a fim de obter a maior diversidade de produtos, diminuir as necessidades de insumos externos e reduzir os impactos ambientais (NAIR, 1990).

1.1 PROBLEMA

A influência do arranjo espacial do componente arbóreo sobre o desenvolvimento da produção de madeira no sistema agroflorestal tem despertado o interesse dos produtores ervateiros. Devem ser consideradas as demandas de recursos inerentes a cada espécie e as práticas de manejo exigidas como a espaçamento de plantio, poda e adubação, para reduzir a competição por água, nutrientes e radiação solar (MAZUCHOWSKI, 1991).

No Brasil, os produtores de erva-mate vêm introduzindo sistemas agroflorestais em suas áreas, de forma a reconstituir as condições originais dos ervais. Existem poucos estudos do arranjo espacial ideais de árvores por unidade, onde se possa tirar o melhor e maior proveito dos fatores de crescimento, produzindo o maior volume de produtos florestais de dimensões, forma e qualidade mais convenientes, de modo que o produtor obtenha os benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes.

A adoção de plantios consorciados em solos de baixa fertilidade pode representar maior capacidade de uso dos nutrientes. O espaçamento torna-se muito relevante, visto que os mais fechados podem gerar intensa competição, enquanto espaçamentos mais abertos podem resultar em subutilização e menor produtividade das florestas (BERNARDO, 1995).

Os principais problemas enfrentados pelos produtores de erva-mate da região de Guarapuava são a baixa qualidade das mudas e a falta de tecnologia de adubação (RODIGHERI, 1996), aliada a definição do número de linhas de seu plantio nas entrelinhas com a cultura florestal, de forma a minimizar a competição entre as espécies e gerando rentabilidade econômica.

São necessários estudos que foquem as análises econômicas e financeiras, as quais avaliam os sistemas quanto à sua viabilidade econômica assim, motivem sua implementação no setor de produção.

1.2 JUSTIFICATIVA

A densidade do povoamento é influenciada pelos fatores bióticos e abióticos do meio, pois eles controlam a disponibilidade de fatores produtivos como água, luz e nutrientes. O melhor arranjo espacial na área ótima é aquele capaz de fornecer o maior volume do produto em tamanho, forma e qualidade desejável.

A simples existência de um componente arbóreo no sistema traz inúmeros efeitos positivos sobre a fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes e controle da erosão. As árvores podem afetar a quantidade e disponibilidade de nutrientes no solo e na zona de absorção radicular das culturas associadas, pois suas raízes profundas podem interceptar os nutrientes lixiviados acumulados no subsolo, geralmente distantes da zona de absorção radicular das culturas, e retorná-los à superfície na forma de serrapilheira (GOTSCH, 1995; ATIERI, 2002).

A eficiência do Eucalipto no sistema agroflorestal visando a racionalização no uso da terra e que permita a penetração de altos níveis de radiação no sub-bosque, o que, por sua vez, favorece o desenvolvimento satisfatório da erva-mate, cumprindo assim com objetivos agronômicos e sócio econômicos e aspectos que justifica este trabalho.

Poucos estudos foram desenvolvidos em sistemas agroflorestais, visando avaliar o eucalipto em condições de plantios mais elaborados. Determinar a idade econômica de corte, o espaçamento, a adubação, a época e a intensidade de tratamentos silviculturais, entre outras decisões, podem ser tomadas de forma mais segura quando executadas as simulações baseadas nos critérios técnico-econômicos (LOPES, 1990). A fim de garantir um retorno econômico desejável é importante aprimorar o conhecimento sobre o planejamento e a otimização da implantação do sistema.

A análise econômica consiste em verificar se as receitas inerentes ao projeto superam os custos necessários. A aplicação dos critérios de análise econômica na

área florestal é fundamental como ferramenta de tomada de decisão; assim, é possível decidir qual o melhor projeto ou a melhor alternativa de manejo a ser adotada.

1.3 HIPÓTESE

Três hipóteses foram levantadas:

A adubação mineral realizada na erva-mate tem efeito residual no incremento médio corrente, periódico e anual de crescimento e produtividade do eucalipto.

A adubação nas erveiras é economicamente viável, possibilitando o incremento de rendimento da erva-mate e eucalipto;

Há eficiência relativa do sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto em relação ao cultivo solteiro da erva-mate.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar o crescimento e a produção de madeira de eucalipto em pé, cultivado em dois arranjos de espaçamento em sistema agroflorestal, sob efeito residual da adubação mineral e análise da rentabilidade do sistema

1.4.2 Objetivos Específicos

Mensurar o efeito de 2 espaçamentos no crescimento individual em altura e diâmetro à altura do peito (DAP);

Avaliar a evolução individual do eucalipto, pelos índices, incremento médio corrente, periódico e anual da altura, DAP e volume nos dois arranjos de espaçamento e nos diferentes tratamentos de adubação;

Indicar o cenário de produção com maior viabilidade econômica;

Avaliar a vantagem relativa do sistema agroflorestal sobre o cultivo solteiro da erva-mate.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DO EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família *Myrtaceae* (Rizzini, 1981), tem sua origem na Austrália, exceto pelas espécies *E. urophylla* e *E. deglupt* que ocorrem em ilhas na Oceania fora da Austrália. O gênero envolve mais de 600 espécies que estão adaptadas a diferentes climas e solos, podendo ser utilizadas para diferentes finalidades. Das mais de 100 espécies de eucalipto introduzidas no Brasil temos o *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, híbridos de *E. grandis* X *E. urophylla*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, outros, sendo o *E. grandis* mais comum (HIGA, 2010).

O eucalipto apresenta crescimento rápido, produz grande quantidade de madeira e subprodutos e tem fácil adaptação. É considerado uma cultura recuperadora de solo, por ter raízes profundas, ele busca, nas camadas inferiores do solo, nutrientes minerais que já estão fora do alcance de raízes superficiais e sua elevada eficiência nutricional e, em razão de sua maior capacidade de retranslocação de nutrientes em relação a outras espécies florestais (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2003).

É utilizado para controlar a erosão do solo e também ocupar áreas que são impróprias para a agricultura. Além disso, serve de matéria-prima para diversas finalidades como marcenaria, apicultura, papel e celulose etc. (REMADE, 2006).

O rápido crescimento dos eucaliptos impõe elevada demanda sobre os recursos do solo, em especial água e nutrientes, fato que levanta questões sobre a capacidade de suporte e da sustentabilidade desses sistemas quando intensivamente utilizados.

Dentro do sistema agroflorestal as espécies apresentam diferenças no crescimento fenológico, na conformação da copa, no sistema radicular e na exigência nutricional. Nesta situação, as plantas de diferentes espécies podem complementar-se na captação de radiação solar, de água e de nutrientes, resultando numa movimentação diferenciada de nutrientes no solo em comparação com um plantio simples (VEZZANI *et al.*, 2001)

O manejo adequado da plantação e do ambiente é essencial para garantir a sustentação de produções econômicas (BELLOTE *et al.*, 2009).

2.2 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL

Existem muitas maneiras de representar o crescimento de uma árvore. Dentre elas, o incremento corrente anual (ICA), o incremento médio anual (IMA), o incremento periódico anual (IPA) (FINGER, 1992).

O crescimento pode ser fortemente influenciado pelas técnicas silviculturais aplicadas, principalmente quanto ao espaçamento de plantio adotado. O espaçamento é uma decisão muito importante e deve ser escolhido com base no destino final da produção, pois refletirá significativamente no crescimento, produção, qualidade da madeira e também nas técnicas de colheita empregadas (PAULESKI, 2010).

O estudo do crescimento possibilita conhecer o potencial de produção florestal de um determinado sítio e com isso, a tomada de decisões sob vários aspectos para o atendimento da demanda do mercado (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

Na análise dendrométrica, a altura constitui-se em um importante variável da árvore que pode ser medida diretamente ou estimada. Nos métodos estimativos, a altura também entra como uma variável independente nas tabelas de volume, funções de afilamento e em algumas outras relações dendrométricas (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

A variável volume constitui-se potencial florestal disponível em uma região, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais (MACHADO *et al.*, 2002). Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, o principal objetivo dos levantamentos florestais, em se tratando de povoamentos destinados para fins comerciais (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo diâmetro a altura do peito

(DAP com casca) e a altura total (H) ou altura comercial. Uma terceira variável independente que eventualmente pode ser usada em equações volumétricas é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma (MACHADO *et al.*, 2002).

Schönau e Coetzee (1989) afirmam que, para as espécies de eucalipto, o crescimento volumétrico, diamétrico e em área basal, geralmente atingem valores máximos, antes dos 10 anos, e o incremento médio anual (IMA), antes de 15-20 anos.

Bouvet e Andrianirina (1990) demonstraram o sucesso do *E. grandis*, aos treze anos na Ilha de Madagascar, com altura média de 40-45 m e produção de 70-80 m³/ha/ano.

No Brasil, aos 11 anos, segundo (GOLFARI *et al.*, 1978) há regiões com condições ecológicas favoráveis para esta espécie, cujas árvores podem atingir 35 m de altura e 25 cm de diâmetro.

2.3 MERCADO DA ERVA-MATE

O cultivo da erva-mate compreende um dos sistemas agroflorestais mais antigos e característicos da Região Sul brasileira, ostentando significativa importância socioeconômica e ambiental. A produção primária da erva-mate é realizada, em grande parte, em estabelecimentos agropecuários com restrita disponibilidade de áreas cultiváveis.

Embora a erva-mate tenha mercado consistente no sul do Brasil com a produção e comercialização, sobretudo do chimarrão, seus plantios não são exclusivos do país. Além do Brasil, a Argentina e o Paraguai produzem a erva, que é nativa na Província de Misiones (Argentina) e na região entre os rios Paraná e Paraguai, no Paraguai (IBGE, 2013).

Em pesquisa Balzon *et al.* (2004) observou que o ciclo produtivo da erva-mate envolve vários segmentos, desde a produção da matéria prima até chegar ao consumidor final. Assim, percebe-se que esta atividade contribui significativamente para a geração de emprego, renda e desenvolvimento econômico, incentivando a industrialização e proporcionando a expansão do mercado no decorrer dos últimos anos (BALZON *et al.*, 2004).

A maioria dos produtores de erva-mate utiliza-se da mão-de-obra familiar para a execução das tarefas. Em especial, a erva-mate é desenvolvida em concomitância com outras atividades, uma vez que a terra é utilizada também para plantio em consórcio com outras culturas temporárias (VASCONCELLOS, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Segundo Oliveira *et al.* (2014) a cadeia produtiva da erva-mate no Rio Grande do Sul está inserida em um mercado diferenciado, com características regionais muito marcantes, mais influenciado pelo hábito, pela tradição, do que por variáveis macro ou microeconômicas. Entretanto, afirma-se a importância da análise dos custos de produção, das condições de mercado, entre outros.

Os sistemas agroflorestais (SAF) surgiram como alternativa sustentável para a agricultura familiar na Amazônia, visto que alguns estudos, a exemplo dos realizados por Oliveira (2006) e Rosa *et al.* (2009), indicam que os SAF, quando bem planejados, proporcionam diversos proveitos ecológicos como: recuperação e proteção do solo e de mananciais hídricos, otimização do espaço e dos recursos ambientais disponíveis, proteção da biodiversidade, e diminuição da incidência de pragas e doenças, além dos benefícios socioeconômicos oriundos da diversificação da produção, da utilização constante da mão de obra e à geração de renda às comunidades locais (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Para que o cenário seja de sucesso, o agricultor deve adequar as culturas à sua capacidade de investimento, interação entre espécies, condições edafoclimáticas regionais e condições favoráveis de escoamento para comercialização. A não observação desses fatores pode aumentar ainda mais os entraves para a adoção dos SAFs (ABDO *et al.*, 2009).

No sistema agroflorestal a produtividade por área de cada cultura deve ser avaliada, levando-se em conta a nova situação. A diminuição da produção por componente do consórcio não pode ser avaliada isoladamente, pois na mesma área poderemos obter um rendimento maior ao longo do tempo. A produção de culturas em SAFs pode superar o monocultivo em termos de produtividade se for adotado manejo adequado (ABDO *et al.*, 2009). Ressalta-se que a exploração de espécies florestais deve ser feita de forma a causar o menor dano possível às culturas agrícolas implantadas nos SAFs.

Os processos produtivos competitivos são caracterizados pela impossibilidade de aumentar a produção em B sem sacrificar a produção em A, ou seja, a produção

de A é concorrente da produção de B, uma prejudica a outra. O que ocorre, neste caso, é o sacrifício da produção de um dos bens de acordo com as expectativas de preço de mercado (DOS SANTOS; LÍRIO; VIEIRA, 2009).

Os processos produtivos complementares são caracterizados pela possibilidade de produção de dois produtos de forma simultânea, sem que o aumento na produção de A prejudique a produção em B. Nesse tipo de processo, seria sempre vantajoso aumentar a produção até que se esgotassem as possibilidades de se alterar a produção sem alterações no custo (DOS SANTOS; LÍRIO; VIEIRA, 2009).

Os sistemas agroflorestais podem ser consórcios simples, cujo paradigma é o mesmo da monocultura, da competição, sendo a combinação de algumas espécies utilizadas para aproveitar melhores fatores de produção, enquanto outros SAF, mais complexos, baseiam-se em outro paradigma, buscando os fundamentos na própria floresta, em seus princípios ecológicos (PENEIREIRO, 2003).

Os benefícios socioeconômicos dos sistemas agroflorestais amplamente reconhecidos (SANTOS, 2010; SOUZA *et al.*, 2011; VIVAN, 2010) decorrem principalmente da alternância e da diversificação da produção, do aproveitamento e reaproveitamento dos recursos intrínsecos ao sistema e do maior envolvimento dos agricultores com o sistema de produção (MAY *et al.*, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no município de Guarapuava-PR, em um sistema agroflorestal de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) com eucalipto (*Eucalipto grandis* Hill (ex Maiden), localizado na Fazenda São José (Figura 1.1), a 25° 23' 36" de latitude sul, 51°27'19" de longitude oeste, 1110 m s.n.m. de altitude e distância de 286 km de Curitiba.

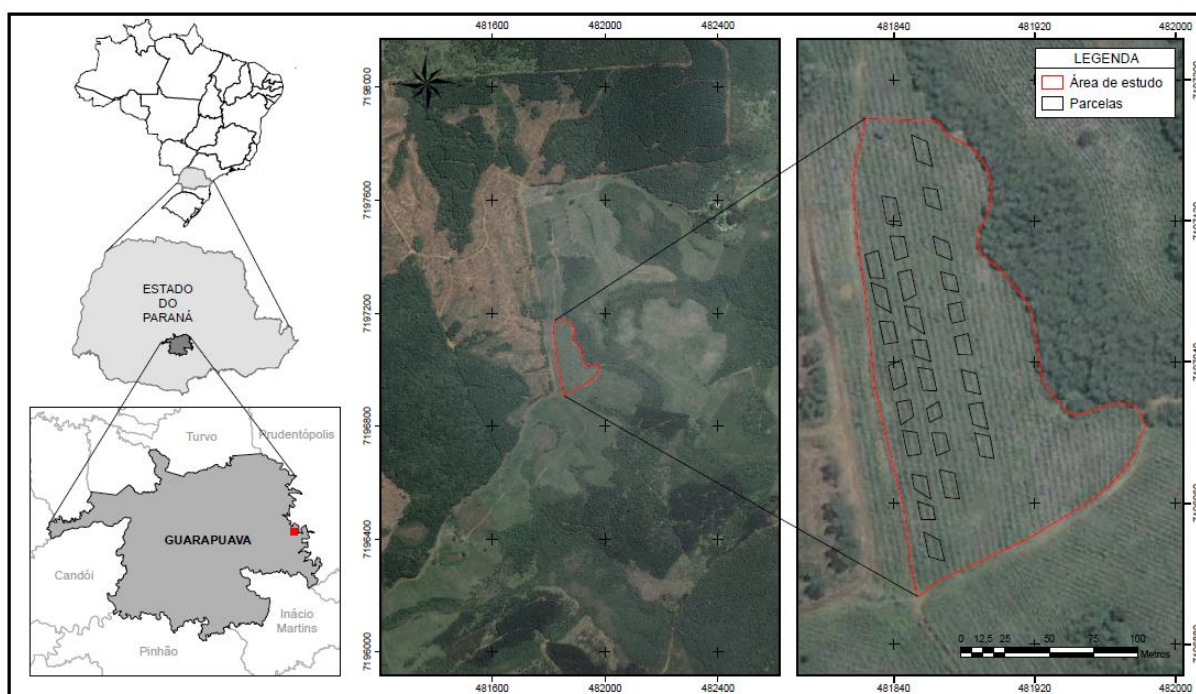


FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO DA PESQUISA

FONTE: GOOGLE EARTH (2013), adaptado por ROSSA (2013)

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA

Na Fazenda São Jose as mudas de erva-mate do sistema agroflorestal, originalmente foram plantadas a pleno sol, no decorrer dos últimos 30 anos e vem sendo implantando desde o ano de 2000 o sistema de plantio de erva-mate com

eucalipto com a assistência técnica da Embrapa Florestas, IAPAR e UFPR (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2002 implantou-se SAF de erva-mate com eucalipto e feijão. A implantação deste sistema nos ervais de 10 anos de idade com plantio intercalar de eucalipto foi gradual. As mudas de eucalipto foram produzidas no viveiro florestal da empresa SCHIER, com sementes de matrizes do material genético da propriedade. Não foi efetuada adubação na cova e nem de cobertura nos anos posteriores à implantação. O corte da erva-mate é realizado anualmente, nos meses de maio a agosto, obtendo-se uma produtividade média por árvore de 5 quilogramas de folhas de erva-mate verde a cada ano (TETTO *et al.*, 2009).

O plantio de eucalipto foi realizado na linha da erva-mate visando facilitar os tratamentos culturais do SAF, bem como, as futuras retiradas de árvores manejadas dentro do erval, com o intuito de manter o processo de manejo da sombra. Efetuou-se adubação no plantio a base de 50 gramas de fosfato natural reativo por árvore. A espécie de eucalipto utilizada foi o *Eucalipto grandis* Hill (ex Maiden). Após o 1º ano, efetuou-se anualmente a desrama de forma a deixar uma altura de até 3 metros sem ramos sobre as erva-mates (TETTO *et al.*, 2009).

O espaçamento original do eucalipto foi de 4 x 1,5 metros (cerca de 1.700 plantas por hectare no ano de instalação), com cortes parciais aos 2 e 3 anos, reduzindo 67% da população original. No 4º ano modificou-se o espaçamento passando para 4 metros entre árvores na linha e 6 metros entre ruas, totalizando 416 plantas/ha (TETTO *et al.*, 2009).

Em 2010 Rossa (2013) alterou os espaçamentos dos eucaliptos, com 6 anos, modificando de duas maneiras: a primeira com 10 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 125 plantas/ha e a segunda com 20 metros entre árvores na linha e 8 metros entre as linhas, totalizando 63 plantas/ha. Esse novo desenho do sistema agroflorestal foi conduzido com adubação e avaliado durante os anos de 2011 e 2012. Os resultados desse período foram utilizados na pesquisa sob estudo para a composição dos resultados.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A análise de aspectos litoestratigráficos da área revela rochas ígneas da Formação Serra Geral e na Formação Botucatu, ambas do Grupo São Bento, formadas durante a era mesozoica (FIGURA 1.2b). Oriundo dos derrames de vulcanismo de fissura continental, que recobriram o arenito Botucatu regional exposto na escarpa que separa o segundo do terceiro planalto paranaense (ROSSA, 2013).

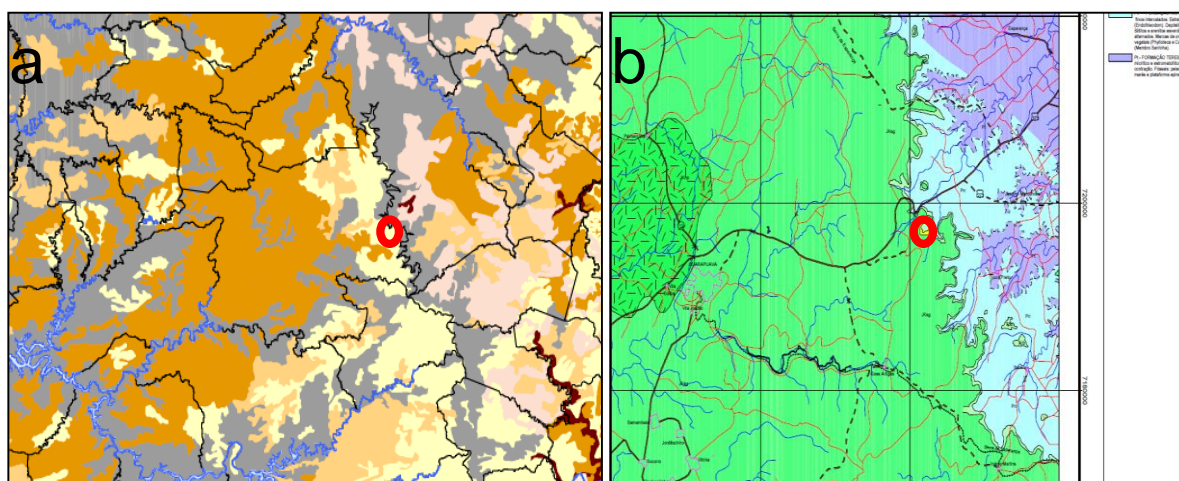


FIGURA 1.2 – MAPA PARCIAL DO SOLO (a) E GEOLOGIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

Segundo classificação climática de Köppen (IAPAR, 1994), na área experimental ocorre clima subtropical úmido, mesotérmico (FIGURA 1.2a), com média do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca, verão brando, geadas severas demasiadamente frequentes.

A vegetação original da área é composta pela Floresta Ombrófila Mista (FOM) chamada popularmente de Mata com Araucárias, ou ainda pinhal (GUERRA *et al.*, 2002), por ter como constituinte principal a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze que, pelo seu porte e densidade se destaca das demais espécies na formação. Os limites altimétricos das formações da FOM no sul do Brasil determinam sua classificação em Altomontana. Segundo IBGE (1992), a formação Altomontana inclui tipologias que ocorrem acima de 1.000 m s.n.m, caso da área experimental do presente estudo que está situada na faixa de Floresta Ombrófila Mista Altomontana (FIGURA 1.3b), existindo a presença de remanescentes de vegetação em estágio de desenvolvimento regenerativo secundário.

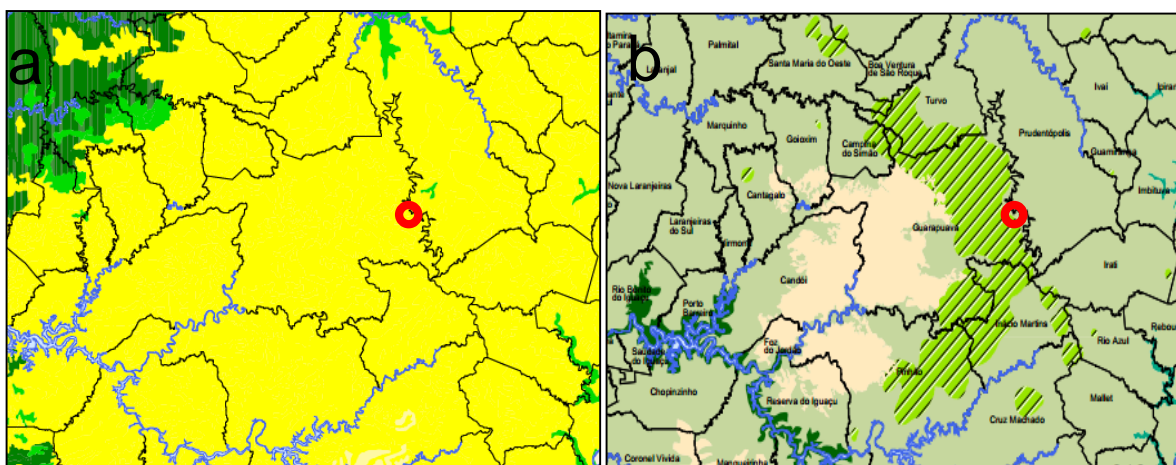


FIGURA 1.3 – MAPA PARCIAL DO CLIMA (a) E DA FITOGEOGRAFIA (b) NA ÁREA EXPERIMENTAL
FONTE: ITCG (2013), modificado por Rossa (2013)

3.4 SOLO

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Álico típico pouco profundo textura argilosa (de 80-100 é muito argilosa) cascalhenta A proeminente (EMBRAPA, 2006). O mapeamento parcial é apresentado na FIGURA 1.3 a, enquanto suas características químicas e físicas, em 5 diferentes profundidades são apresentadas nas Tabelas 1.1 e 1.2, respectivamente.

TABELA 1.1 – DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, COM ERVA MATE, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Prof. (cm)	pH		Al^{+3}	$H^{+} + Al^{+3}$	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	SB	T	P	C	V	M
	CaCl ₂	SM P	cmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
0 – 20	4,24	4,79	2,0	14,57	2,3	1,6	0,09	3,96	18,53	1,9	42,1	21	34
20 – 40	3,94	4,54	3,9	18,17	1,1	0,6	0,07	1,76	19,92	5,2	39,8	9	69
40 – 60	4,08	4,86	2,2	11,60	0,1	0,1	0,02	0,26	11,85	1,2	19,4	2	89
60 – 80	4,15	5,24	1,2	8,74	0,1	0,0	0,01	0,07	8,81	0,3	12,7	1	95
80 – 110	4,41	5,32	0,3	8,24	0,8	0,0	0,01	0,84	9,07	0,2	14,0	9	25

FONTE : Rossa (2013)

A saturação por bases do solo (V) é baixa sendo um solo epidistrófico (ele é distrófico apenas no A e álico nos demais horizontes), sendo bastante ácidos e de fertilidade baixa. Com saturação por alumínio do solo (M) alta (álico) pobre em cálcio com alto teor de alumínio (MALAVOLTA, 2006).

TABELA 1.2 – TEXTURA DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

Profundidade (cm)	Areia Grossa	Areia fina	Argila	Silte
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 – 20	73	74	600	253
20 – 40	74	95	580	251
40 – 60	94	73	600	233
60 – 80	118	70	560	252
80 – 110	48	48	700	204

FONTE: Rossa (2013)

3.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

3.5.1 Luminosidade Aparente

As determinações de iluminância (NBR ISO/CIE 8995- ABNT) foram efetuadas com a utilização do aparelho luxímetro digital portátil 0 a 200.000 Lux.

Para calcular o índice de luminosidade aparente mediu-se a intensidade de luz a campo aberto, mantendo o luxímetro no plano horizontal a uma altura aproximada 2 metros, relacionando com a intensidade lumínica de cada parcela, para definição das faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30% correspondente a iluminância observada no campo aberto.

Para estabelecimento das faixas de intensidade de luz de cada parcela registrou-se com o luxímetro na face norte da parte superior da copa das 10 plantas uteis de erva-mate nos horários das 9, 12 e 15 horas, durante 3 dias consecutivos.

A partir da observação de iluminancia máxima nas parcelas sem eucaliptos - faixa média de 60% - foi estabelecido as faixas de menor intensidade de luz de 45 e 30%, nas parcelas com eucalipto. Foram realizadas podas nos eucaliptos durante o período de realização do experimento para manutenção dos níveis de intensidade de luminosidade aparente pré estabelecidas de 45% e 30%.

As leituras de intensidade de luz foram realizadas na primeira semana imediatamente após o início de cada estação do ano (verão, outono, inverno, primavera).

Os dados de iluminância levantados referem-se à intensidade de luz difusa média existente em cada parcela, estabelecendo-se as faixas de luminosidade aparente de 60%, 45% e 30%, medindo-se a Iluminância em Lux (Lx) - que equivale a 1 lúmen por metro quadrado - considerando-se a média da iluminância detectada durante as estações de primavera, verão, outono e inverno nos anos de 2011 a 2015.

3.5.2 Adubação

As erveiras foram adubadas quimicamente com adubo convencional de pronta solubilidade e adubo de liberação controlada com diferentes formulações, conforme segue QUADRO 1.1.

	Convencional ¹	Liberação Controlada ²
Ano	2011/ 2012/ 2013/2014/2015	2011/ 2012/ 2013/2014/2015
Formulação	15% de N; 05% de P ₂ O ₅ e 30% de K ₂ O	15% de N, 8% de P ₂ O ₅ e 12% de K ₂ O

QUADRO 1.1- PERÍODO E FORMULAÇÃO

¹Marca Nitrobrás

²Marca Basacote

No período de 2011 a 2015 as erveiras foram adubadas em duas diferentes tecnologias. A adubação convencional de pronta solubilidade foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em duas vezes por ano (setembro e dezembro), totalizando 10 aplicações. A dosagem foi de 100g por árvore de erva-mate para cada aplicação, na formulação 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O. A dose seguiu recomendação técnica dos fabricantes, sendo utilizado a metodologia de arruação circular de 20cm na projeção das copas (FIGURA 1.4).

A adubação de liberação controlada foi realizada nos tratamentos de luminosidade 60%, 45% e 30%, aplicando-se em uma vez por ano (setembro), totalizando 5 aplicações. A dosagem foi de 30g por árvore de erva-mate para cada aplicação, na formulação 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O, sendo utilizado a metodologia de 3 covas de 20 cm de profundidade, abertas na projeção da copa (FIGURA 1.5).



FIGURA 1.4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL NA ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)



FIGURA 1.5 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA
ERVA-MATE
FONTE: Rossa (2013)

3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O esquema experimental utilizado foi blocos casualizados, com 6 tratamentos nos blocos em 3 repetições, totalizando 18 parcelas de 180m² em média, com 10 plantas úteis de erva-mate por parcela e bordadura dupla de aproximadamente de 20 metros.

Os tratamentos foram constituídos de maneira a representar o sistema agroflorestal contínuo, por estarem em alinhamento, onde o componente arbóreo eucalipto entrou com função de produzir sombra, sendo correspondente a 45% e 30% da intensidade a campo aberto.

Os tratamentos com a faixas de luminosidades foram combinados com diferentes adubações, tendo sem adubação nas erveiras NA, com adubação mineral convencional de pronta solubilização AC e adubação mineral de liberação controlada ALC.

Desta maneira os tratamentos foram:

T1- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T2- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P₂O₅ e 30% de K₂O;

T3- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (20m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 45% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P₂O₅ e 12% de K₂O.

A configuração das parcelas T1, T2 e T3 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.6).

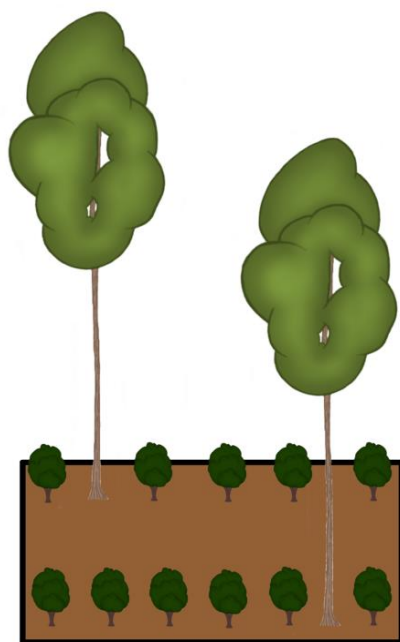


FIGURA 1.6 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T1, T2 E T3
 FONTE: Autor, 2016

T4- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, sem adubação;

T5- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação convencional 15% de N; 05% de P_2O_5 e 30% de K_2O ;

T6- erva-mate (2m x 4m), eucalipto (10m x 8m) com faixa de luminosidade aparente correspondente à faixa de 30% da intensidade a campo aberto, com adubação de liberação controlada 15% de N, 8% de P_2O_5 e 12% de K_2O .

A configuração das parcelas T4, T5 e T6 em espaçamento específico é apresentada (FIGURA 1.7).

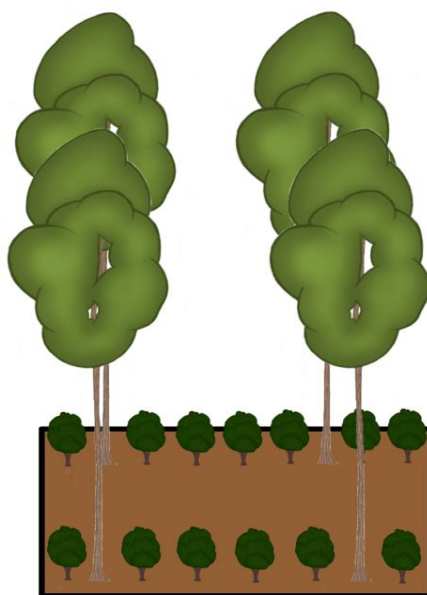


FIGURA 1.7 – CONFIGURAÇÃO DAS PARCELAS T7, T8 E T9
FONTE: Autor, 2016

A seleção das plantas úteis de cada parcela foi definida pela fórmula de Steel (STEEL; TORRIE, 1960), resultando 10 plantas dominantes por parcela, dentre as 20 plantas passíveis de utilização. No croqui da Figura 1.8 é possível verificar o esquema de distribuição dos blocos e tratamentos. Além da configuração da bordadura de cada tratamento e bloco. Para a avaliação da produtividade das erveiras todas as 10 plantas úteis de cada parcela foram consideradas.

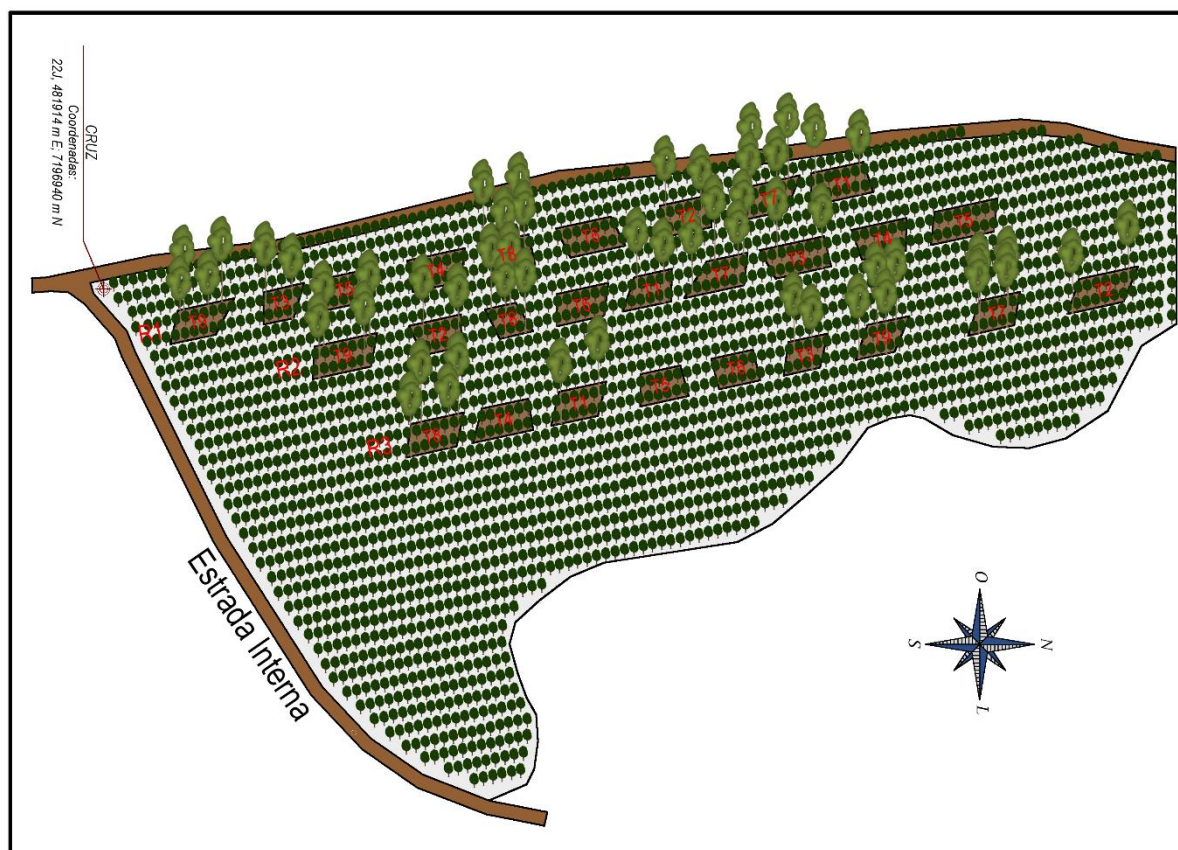


FIGURA 1.8 - PLANTA ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PARCELAS DE ERVA-MATE CONSORCIADA COM EUCALIPTO, EM ESPAÇAMENTO ESPECÍFICO PARA A ÁREA
 FONTE: Autor, 2016

As plantas da área útil foram etiquetadas, sendo consideradas individualmente para a coleta de dados nos blocos e tratamentos. A pesquisa foi conduzida durante 5 anos, contados a partir de 2011 até 2015

3.7 COLETA DE DADOS

3.7.1 Variáveis Dendrométricas

O povoamento de eucalipto tem 11 anos de idade e possui espaçamento de 10 m x 8 m e 20 m x 8m. Para a coleta das variáveis dendrométricas do povoamento todas as árvores contidas no interior das parcelas tiveram sua circunferência à 1,30 m em relação ao nível do solo (CAP) medidas e sua altura, no período de 2011 a 2015. As parcelas apresentam diferenças quanto ao número de linhas de bordadura

em ambos os lados, pois este número acompanha o espaçamento entre árvores, com no mínimo duas linhas de bordadura.

Foi utilizado a trena para medição do CAP e o hipsômetro suunto, utilizado para obtenção da altura total das árvores. Todos os dados levantados foram registrados em fichas de campo padronizadas, sendo posteriormente armazenados em planilhas eletrônicas.

Para a obtenção do volume real, foi realizado a cubagem, onde empregou-se o método direto de mensuração do volume por Smalian (MMA, 2012). Este é o método de cubagem adotado pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) em 10 árvores amostrais, onde foram medidos os diâmetros da base e do topo de cada uma das árvores cubadas (FIGURA 1.9).



FIGURA 1.9 – APLICAÇÃO DA MEDODOLOGIA DA CUBAGEM

A fórmula de Smalian utilizada:

$$Vc = [(d_b^2 \times (\pi \div 4) + d_t^2 \times (\pi \div 4)) \div 2] \times h$$

Em que:

Vc = volume comercial com casca (m³);

d_b = diâmetro base (m);

d_t = diâmetro topo (m)

h = altura total (m).

Para calcular o volume do cilindro utilizou a altura total (Ht) e o diâmetro com casca, tomado a 1,30 metro de altura na árvore (DAP). Com o DAP obteve-se a área seccional do cilindro.

$$V_{cilindro} = [(3,1416 \times DAP^2)/40000] \times Ht$$

O fator de forma para o volume total de cada árvore amostra foi determinado por meio da seguinte equação:

$$F = VR / VC_{1,3h}$$

Em que:

F = Fator de forma;

VR = Volume rigoroso da árvore em m³, determinado pela cubagem;

VC = Volume do cilindro (d 1,3h).

Para o cálculo do volume de cada indivíduo foi utilizando a fórmula:

$$V = DAP^2 (\pi \div 4) \times h \times FF$$

Onde:

h = altura da árvore;

FF = Fator de forma.

Nos cálculos utilizou-se o fator de forma 0,46, obtido pela cubagem realizada. Obteve-se valores médio de 0,40 a 0,52, o diâmetro médio da base foi de 0,75 a 0,85 m e o diâmetro do topo de 0,03 a 0,04m.

Os valores médios de volume por árvore (v/árv) obtidos para cada espaçamento, nas diferentes idades de avaliação, foram multiplicados pelo número de árvores, calculando-se assim o volume por hectare (V/ha).

Os incrementos ocorridos entre 2011 e 2014 em altura total (m), diâmetro à altura do peito (m) e volume por árvore (m³) e por hectare (m³/ha) foram calculados através das fórmulas:

a) O incremento corrente anual IP:

$$IP = Y(t + n) - Y_t$$

Onde:

IP = incremento periódico;

Y = dimensão considerada;

t = idade;

n = período de tempo.

Expressa o crescimento em um período de tempo determinado.

b) O incremento médio anual IMA:

$$IMA = V / t$$

Sendo:

IMA = Incremento Médio Anual (m³);

V = Volume (m³) produzido em função da idade t (anos);

t = Idade da plantação (anos).

O valor do incremento ou crescimento médio anual (IMA) expressa a média do crescimento total a certa idade da árvore.

c) O incremento ou crescimento periódico anual (IPA):

$$\text{IPA} = (Y(t + n) - Y_t)/n$$

Onde:

Y = dimensão da variável considerada

t = idade

n = período de tempo

O incremento ou crescimento periódico anual (IPA) é o que a árvore cresceu em média de um determinado período de anos.

3.8 PRESSUPOSTO GERAIS

Os custos de implantação, estabelecimento e manutenção das culturas erva-mate e eucalipto propostas para este trabalho foram calculados de acordo com as informações do produtor e validadas pelas cotações segundo SECRETARIA DE ABASTECIMENTO DO PARANÁ (2015).

Para futuras comparações, utilizou-se o Dólar dos Estados Unidos, com símbolo de US\$, como indexador comum. Foi considerada a sua cotação comercial de venda no dia 26/10/2015 que representava a taxa de câmbio US\$ 1,00= R\$ 3,90 (BANCO CENTRAL DO BRASIL).

Consideraram-se, na composição dos custos adicionais os gastos com adubação. Utilizou-se, para o adubo convencional AC no valor de US\$ 1,38 o quilo e o adubo de liberação controlada ALC no valor de US\$ 12,48 o quilo ano base 2010.

O preço da erva-mate (@) e do eucalipto (m³) foram obtidos via base de dados para o ano de 2010 (SEAB/DERAL/DEB 2015).

A produtividade da erva-mate e do eucalipto foram determinados a partir de uma condição estabelecida pela produção física real contabilizada durante os 5 anos de cultivo e outra ex ante constituída por uma projeção para um ciclo total de 23 anos. A estimativa do volume do eucalipto para o ano 23, utilizou-se o software SisEucalipto (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

A análise de viabilidade econômica do modelo de sistema agroflorestal foi realizada com o uso dos seguintes indicadores financeiros:

a) Para a análise da eficiência produtiva dos sistemas de cultivo, utilizou-se Land Equivalente Ratio (LER) que é uma medida de produtividade agrícola utilizada para a avaliação dos cultivos múltiplos. O LER também é denominado de Uso eficiente da terra (UET) sugerida por Willey (1979).

$$UET=Yab/Yaa=Yba/Ybb$$

Sendo:

Yab o rendimento da erva-mate (a) em regime de consórcio e (b), Yaa da erva-mate isolada,

Ybb o rendimento da cultura eucalipto isolada;

Yba o rendimento do eucalipto em consórcio.

b) Utilizou-se o método da Taxa de Retorno Incremental de Fisher, que é uma variante da TIR utilizada para comparar o uso das adubações. A TRI é a TIR referente ao acréscimo da receita de um investimento em relação ao outro, considerando-se para isso o investimento incremental para obtê-la (FISHER, 1961).

Foi ordenado de maneira crescente, em função dos investimentos iniciais, todas as alternativas de ação existentes

3.9 ANALISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados em delineamento em blocos completos ao acaso, utilizando modelos mistos, sendo os tipos de adubação (NA, AC, ALC), níveis de luminosidade (45% e 30%) e suas interações considerados como efeito fixo e os anos, bloco e o resíduo como efeito aleatório, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + T_j + b_k + p_l + (ST)_{ij} + e_{ijkl},$$

onde:

Y_{ijl} = valor observado na parcela que recebeu o tipo de adubo i, o nível de luminosidade j, no ano l;

μ = efeito geral da média;

S_i = efeito fixo do tipo de adubo i;

T_j = efeito fixo do nível de luminosidade j ;

b_k = efeito aleatório do bloco k ;

p_l = efeito aleatório do ano l ;

$(ST)_{ij}$ = interação entre o tipo de adubo i e o nível de luminosidade j ;

e_{ijkl} = erro aleatório da parcela que recebeu o tipo de adubo i , o nível de luminosidade j , ano l , bloco k ;

A estrutura de covariância foi estimada pelo método da máxima verossimilhança restrita.

Quando observado efeito significativo dos fatores do modelo sobre as variáveis dependentes, as médias foram comparadas pelo teste de Student ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MENSURAÇÕES DA DIÂMETRO E ALTURA INDIVIDUAL DO POVOAMENTO DO EUCALIPTO

Os dados médios do diâmetro e altura foram mensurados e analisados estatisticamente e não houve interação significativa pelo teste F entre os espaçamentos e a adubação. Não foi aplicado o teste de comparação de médias (TABELA 1.3).

TABELA 1.3 QUANTIFICAÇÃO MÉDIA DO DIÂMETRO (CM) E ALTURA (M) INDIVIDUAL DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20X8 M E 10X8 M COM 11 ANOS DE IDADE

ESPAÇAMENTO	20x8 m	10x8 m	TESTE F
TRATAMENTO ²	DIÂMETRO (cm)		
NA	32,89	30,87	0,6695 ns
AC	32,99	29,76	CV%
ALC	32,83	33,31	13,46
	ALTURA (m)		
NA	20,50	19,85	1,1157 ns
AC	18,50	18,26	CV%
ALC	18,65	19,33	10,53

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

Dados mensurados em 2014

CV% coeficiente de variação

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

FONTE: Autor, 2016

O diâmetro médio do eucalipto teve o maior valor (33,31 cm) no espaçamento de 10 x 8 m e menor valor (29,76 cm) no espaçamento 10x8 metros. Oliveira *et al.* (2010) analisando o crescimento do *Eucalypto grandis* em sistema agrossilvipastoril, encontrou valores acima de 20 cm de DAP aos quatro anos, nos arranjos de 10x3 m e 10x4 m. Comportamento semelhante foi verificado por Leite *et al.* (1997) avaliando diferentes densidades populacionais de eucalipto, de 500 a 5 mil plantas por hectare. Vezanni *et al.* (2001) obteve dados em povoamentos de Eucalipto consorciado com 4,0x1,5 m de espaçamento com 4 anos com diâmetro de 13,2 cm.

Mesmo não havendo diferença estatística entre os espaçamentos, pode-se inferir que o eucalipto teve um incremento no diâmetro do espaçamento de maior densidade de árvores 10x8 no tratamento ALC (TABELA 1.3). O efeito residual da adubação de liberação controlada pode ter influenciado esse incremento. O

movimento de nutrientes nos povoamentos florestais se dá com a sua absorção pelas plantas em camadas mais profundas do solo (NOVAIS *et al.*, 1990).

A resposta em "aceleração do crescimento" não é imediata, já que uma árvore pode levar até quatro anos para ampliar sua superfície folhar e radicular e, a partir daí, produzir um incremento significativo em diâmetro (SCHNEIDER, 1993).

Para a altura do eucalipto o maior valor (20,5 m) foi no espaçamento de 20x8 m e o menor de (18,26 m), no espaçamento de 10x8 m (TABELA 1.3). Oliveira *et al.* (2010) analisando o crescimento do *Eucalyptus grandis* em sistema agrossilvipastoril, encontrou alturas para arranjo 10x3 m de 22 m de altura com 4 anos. As alturas de árvores de eucaliptos, aos 45 meses do plantio, tiveram sua altura em consorcio de 15,7 m.

Ainda, Oliveira *et al.* (2010), inferiu que maior altura em espaçamentos mais amplos, deve-se aos efeitos da competição por água e nutrientes nos arranjos com menor área útil, com consequência diminuição da taxa de crescimento. Simões (1980) em plantio puro encontrou a altura máxima de 25,57 m para *E. grandis* no espaçamento 3x2,0 m e idade de 11 anos.

Para a variável altura, o efeito residual da adubação não promoveu efeito. Entretanto, podemos inferir que a altura os 11 anos do povoamento está dentro da média da literatura, onde busca-se árvores com maiores diâmetros para uso em serraria.

4.2 INCREMENTOS DENTRO DO ARRANJO ESPACIAL 10X8 M

A variável Diâmetro a Altura do Peito (DAP) foi mensurada e analisada no espaçamento 10 x 8 m, dentro do sistema agroflorestal. Para o incremento corrente, anual e periódico do DAP não houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a variável e os tratamentos sem adubação e adubado (GRÁFICO 1.1).

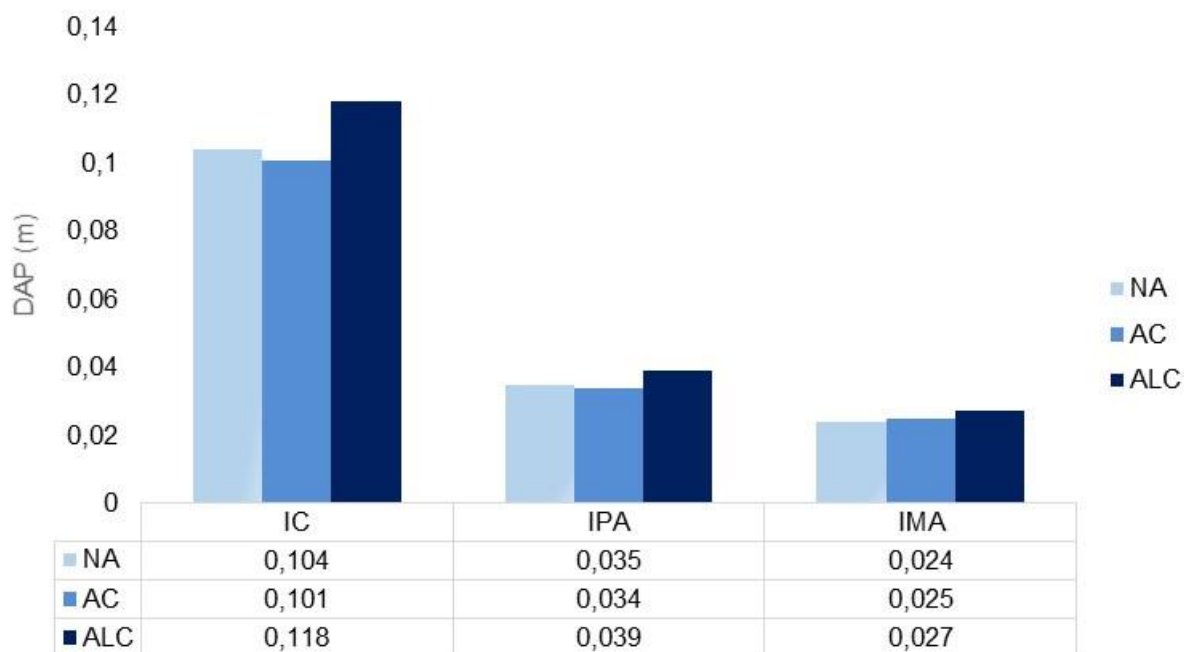


GRÁFICO 1.1 INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DO DAP DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 10X8 M NOS TRATAMENTOS NÃO ADUBADO NA, ADUBAÇÃO CONVENCIONALAC E ADUBAÇÃO LIBERAÇÃO CONTROLADAALC

IC- 2011 a 2014

IPA- 2011 a 2014

IMA- 0 a 11 anos

NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

FONTE: Autor, 2016

Não houve diferença significativa no IC, entretanto, o DAP no tratamento ALC teve um acréscimo no seu crescimento, quando comparado com NA e AC. Este aumento foi de 13,46%, sendo relevante no rendimento final da madeira de eucalipto. A adubação de liberação controlada pode trazer benefícios para o desenvolvimento do eucalipto. A disponibilidade de nutrientes é um fator introduzido no sistema de produção que cria condições propícias para a vida do solo, tendo como resultado um sistema de produção biodiversificado, estratificado e dinâmico (PENEIREIRO, 1999).

Pode-se inferir que, pelo incremento em DAP do eucalipto, a adubação de liberação controlada pode ter influenciado no desenvolvimento positivo do sistema agroflorestal com a erva-mate.

Para o incremento corrente e periódico da altura, houve interação significativa ($P < 0.05$) entre os tratamentos sem adubação e adubado (TABELA 1.4).

TABELA 1.4 INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) E INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) DA ALTURA DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 10X8 M

TRATAMENTO ²	IC ALTURA (m)	IMA ALTURA (m)	IPA ALTURA (m)
NA	7,45 a	1,54 a	2,48 a
AC	4,97 b	1,50 a	1,65 b
ALC	6,05 ab	1,50 a	2,01 ab
TESTE F	0,0340*	0,763 ^{ns}	0,034*
CV %	38,73	10,77	38,73

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

IC- 2011 a 2014

IMA- 0 a 11 anos

IPA- 2011 a 2014

FONTE: Autor, 2016

O IC da altura apresentou diferença significativa, sendo o tratamento NA superior (7,45 m) quando comparado ao AC, com de (4,97 m). O tratamento ALC não apresentou diferença estatística do NA, com altura de (6,05 m).

O desenvolvimento do eucalipto durante os 11 anos foi homogêneo (IMA), sendo que nos últimos 3 anos, o IPA apresentou diferença significativa entre os tratamentos (TABELA 1.4). Os tratamentos NA e ALC com valores próximos e AC bem abaixo.

A variável volume de madeira foi quantificada no povoamento em pé e analisada estatisticamente, havendo interação significativa no incremento periódico anual (IPA) entre os tratamentos não adubado e adubado (TABELA 1.5)

TABELA 1.5 VOLUME DE MADEIRA, INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DE VOLUME DE EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 10X8 M

TRATAMENTO ²	VOLUME ha m ³	IPA VOLUME ha m ³	IMA VOLUME ha m ³
NA	75,18 a	18,90 b	6,26 a
AC	79,33 a	17,55 b	6,53 a
ALC	87,96 a	21,17 a	7,33 a
TESTE F	0,6215 ^{ns}	0,0977*	0,6127 ^{ns}
CV %	39,61	44,98	39,91

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1) Teste F: *significativo a 5%; **significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

IC- 2011 a 2014

IMA- 0 a 11 anos

IPA- 2011 a 2014

FONTE: Autor, 2016

A maior produção de madeira em pé foi de 87,96 m³/ha, para o tratamento ALC, e menor, de 75,18m³/ha, Oliveira *et al.* (2010) encontrou produtividade de eucalipto em sistema agrossilvipastoril, com quatros anos de 72,84 m³/ha no arranjo 10x4 m. Vezzani *et al.* (2001) em Eucalipto consorciado, encontrou volume de madeira, aos 45 meses do plantio, em arranjo de 4,0x1,5 m de 71 m³/ha.

O volume de madeira obtido de eucalipto no sistema agroflorestal com a erva-mate em arranjo 10x8m (125p/ha) com 11 anos está dentro da média, quando comparado com a literatura de Oliveira *et al.* (2010) e Vezzani *et al.* (2001) que em povoamento mais denso de 250 a 1667 plantas por hectare, idade 4 anos, mostraram-se volumes com 17,18% a 19,28% respectivamente menores, considerando ainda que o espaçamento 10X8m tem 50% e 92% respectivamente a menos plantas por hectare.

O maior incremento periódico (21,17 m³) de madeira ocorreu no tratamento ALC e o menor (17,55 m³) no AC. Este resultado quando comparado com o IMA que não apresentou diferença estatística, faz inferir que durante os 11 anos na média de crescimento em volume, o povoamento do eucalipto não apresentou diferença. Entretanto, o IPA nos 3 anos, quando ocorreu a adubação dentro do povoamento, se beneficiou e teve um acréscimo de volume em 12,61% com a adubação de liberação controlada. E, mesmo a variável volume não ter apresentando diferença significativa, maiores valores foram obtidos nos tratamentos ALC, seguindo de AC e NA.

Esse acréscimo em volume é significativo para o produtor. A sustentabilidade dos pequenos produtores deve mostrar um indicador, que estabeleça no mínimo critérios de manutenção, tendo a capacidade produtiva do agroecossistema (ALTIERI, 1998). A sustentabilidade dos sistemas agroflorestais é função das interações do fluxo de energia, da ciclagem de nutrientes e da biodiversidade do sistema (RODRIGUES, 2004).

4.3 VARIÁVEIS ANALISADAS DENTRO DO ARRANJO ESPACIAL DE ESPAÇAMENTO 20X8 M

A variável Diâmetro a Altura do Peito (DAP) foi medida e analisada no espaçamento 20x8 m dentro do sistema agroflorestal. Para o incremento corrente,

anual e periódico do DAP não houve interação significativa ($P < 0.05$) entre a variável e os tratamentos sem adubação e adubado (GRÁFICO 1.2).

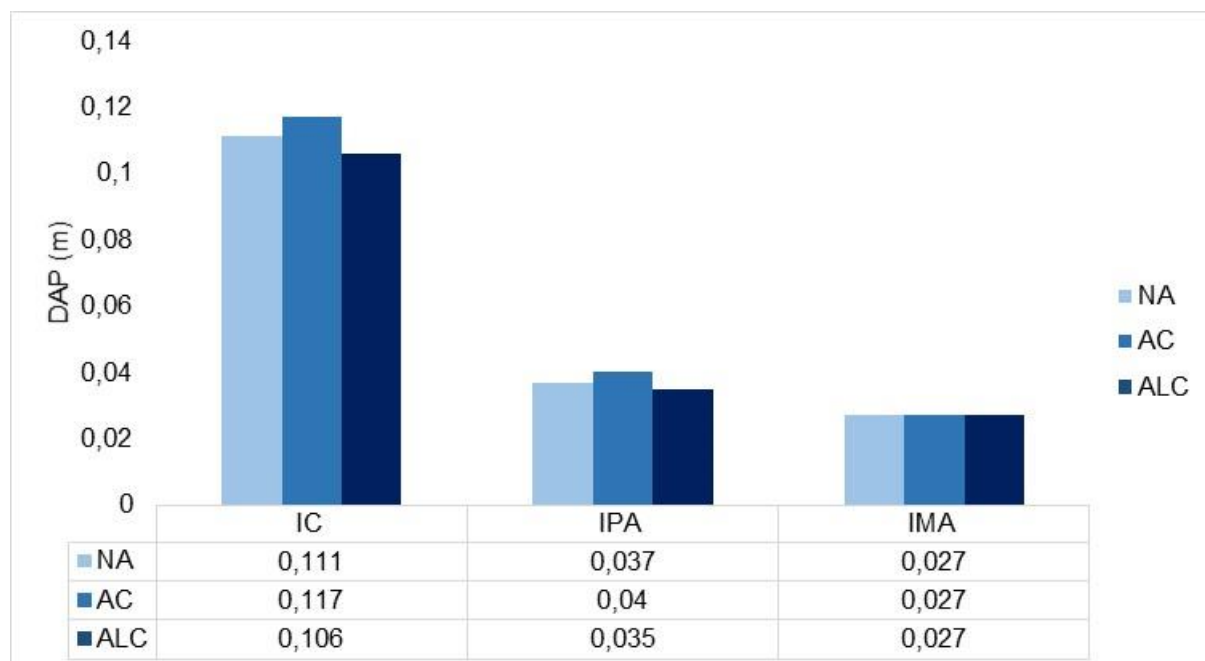


GRÁFICO 1.2 INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DO DAP DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20X8 M NOS TRATAMENTOS NÃO ADUBADO NA, ADUBAÇÃO CONVENCIONALAC E ADUBAÇÃO LIBERAÇÃO CONTROLADAALC

IC- 2011 a 2014

IMA- 0 a 11 anos

IPA- 2011 a 2014

NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

FONTE: Autor, 2016

No espaçamento 20x8 metros não houve diferença significativa entre os tratamentos para os índices de incremento. O IC o tratamento AC foi superior do tratamento NA e ALC respectivamente. Este acréscimo foi de 5,12%, resultando para o produtor um aumento de madeira. Podemos inferir que no espaçamento 20x8 o eucalipto pode ter aproveitado de maneira muito discreta o efeito residual da adubação convencional. Já para a ALC não teve nenhum efeito no eucalipto na variável DAP.

Para o incremento corrente e periódico da altura houve interação significativa ($P < 0.05$) entre os tratamentos sem adubação e adubado (TABELA 1.6).

TABELA 1.6 INCREMENTO CORRENTE (IC), INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) E INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) DA ALTURA DO EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20X8 M

TRATAMENTO ²	IC ALTURA(m)	IMA ALTURA(m)	IPA ALTURA(m)
NA	7,88 a	1,70 a	2,62 a
AC	5,50 b	1,54 a	1,83 ab
ALC	5,05 b	1,55 a	1,68 b
TESTE F	0,0971*	0,3964 ^{ns}	0,0970*
CV %	40,27	14,27	40,27

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste student's no nível de 5% de probabilidade

(1)Teste F: *significativo a 5%;**significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

IC- 2011 a 2014

IMA- 0 a 11 anos

IPA- 2011 a 2014

FONTE: Autor, 2016

Os dados obtidos da altura do eucalipto tiveram diferenças significativa no índice IC e IPA. No índice de incremento corrente o tratamento NA foi superior (7,88 m) quando comparado com (5,05 m) do ALC. Para IPA o mesmo comportamento foi observado. Para a variável altura, a adubação no povoamento agroflorestal não gerou os melhores resultados.

A variável volume de madeira foi quantificada no povoamento em pé e analisado estatisticamente, não houve interação significativa entre o incremento periódico anual IPA, IMA e IPA com os tratamentos não adubado e adubado no espaçamento 20x8 m (TABELA 1.7).

TABELA 1.7 VOLUME DE MADEIRA, INCREMENTO PERIÓDICO (IPA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE CRESCIMENTO (IMA) DE VOLUME DE EUCALIPTO NO ESPAÇAMENTO 20X8 M

TRATAMENTO ²	VOLUME ha (m ³)	IPA VOLUME (m ³)	IMA VOLUME (m ³)
NA	51,07 a	12,46 a	4,25 a
AC	47,08 a	11,15 a	3,92 a
ALC	49,62 a	11,23 a	4,13 a
TESTE F	0,9264 ^{ns}	0,8553 ^{ns}	0,9264 ^{ns}
CV %	34,28	36,87	34,28

Valores médios na mesma linha seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Student's no nível de 5% de probabilidade

(1)Teste F: *significativo a 5%;**significativo a 1%; ^{ns} não significativo

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

IC- 2011 a 2014

IMA- 0 a 11 anos

IPA- 2011 a 2014

FONTE: Autor, 2016

Os valores dos índices de volume analisados não obtiveram diferença significativa, tendo tendência de maiores acréscimos para o tratamento NA. Podemos

inferir que no arranjo 20x8m (63 plantas /ha) a adubação nas erveiras não promoveu incremento.

4.4 EFICIÊNCIA NO USO DA TERRA (UET)

Na TABELA 1.8 são apresentados os resultados do cálculo do UET para os tratamentos (NA, AC e ALC) nas luminosidades relativas 45% e 30% e a proporção da produção relativa obtida.

TABELA 1.8- EQUIVALENCIA DE USO DA AREA PARCIAL E TOTAL (UET) PARA OS TRATAMENTOS NAS FAIXAS DE LUMINOSIDADE APARENTE DE 45% E 30%

TRATAMENTOS ²	FAIXA DE LUMINOSIDADE	UET PARCIAL		UET- TOTAL ¹
		ERVA-MATE	EUCALIPTO	
NA	45%	0,61	0,735	1,35
AC		0,56	0,725	1,29
ALC		0,54	0,731	1,27
NA	30%	0,52	0,731	1,25
AC		0,52	0,726	1,25
ALC		0,51	0,756	1,28

(1) UET padronizado

(2) NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

Com base nos valores calculados do UET total para os tratamentos, todos os resultados foram superiores a 1. Indicando que estes sistemas de produção são mais eficientes no uso da terra do que os respectivos sistemas em condições de plantios isolados.

O tratamento NA luminosidade aparente 45%, com UET de 1,35, sendo eficiente em 35%, quando comparado com o cultivo solteiro, assim são necessários 35% a mais de área para a mesma produção do sistema agroflorestal. Na comparação que relacionada UET 1,27 do tratamento ALC 45% com o UET 1,28 do tratamento ALC 30% mostra-se 1,57% menos eficiente (TABELA 1.8). A erva-mate teve seu UET parcial menor na luminosidade de 30%, quando comparado com 45% chegando a 16,39% menos produtivo.

Esses resultados mostram que os cultivos em sistema agroflorestal são mais eficientes do que sistema tradicional da cultura da erva-mate. Entretanto podemos inferir como referências ao produtor ervateiro, que a adoção dos sistemas

agroflorestais deverão optar por arranjos espaciais maiores do componente arbóreo na função de sombra, acima da faixa de 45% de luminosidade aparente.

4.5 VIABILIDADE DO SISTEMA AGROFLORESTAL

Na tabela 1.9 são apresentados os resultados da taxa de retorno de Fisher para os diferentes tratamentos na luminosidade 45% e 30%.

TABELA 1.9 TAXA DE RETORNO DE FISHER PARA OS ARRANJOS 20X8 E 10X8 METROS NO PERÍODO DE 5 E 23 ANOS

45% -ARRANJO 20X8 M	AC – NA	ALC - NA
Taxa de retorno de Fischer (5 anos)	- 15%	- 65%
Taxa de retorno de Fischer (23 anos)	13%	- 1%
30%- ARRANJO 10X8 M	AC – NA	ALC – NA
Taxa de retorno de Fischer (5 anos)	- 1%	- 17%
Taxa de retorno de Fischer (23 anos)	- 0,04%	0,13%

NA não adubado, AC adubação convencional, ALC adubação de liberação controlada

Nos 5 anos de avaliação a utilização da adubação convencional e adubação de liberação controlada na erva-mate, tiveram taxa de retorno de fisher negativos, nos arranjos espaciais dos eucaliptos de 20 x 8 metros e 10 x 8 metros. Podendo inferir ser excludente a utilização da adubação, tanto convencional como da liberação controlada neste período.

Já na avaliação estimada do sistema em 23 anos, o tratamento AC no espaçamento 20x8 metros obteve uma taxa de retorno de fisher positiva de 13% (TABELA 1.9). Indicando que o incremento de produtividade da erva-mate e do eucalipto foi superior do que o tratamento NA. Sendo viável economicamente ao produtor, como consequência direta uma relação favorável entre os benefícios e custos.

No espaçamento 10x8 metros, estimando em 23 anos o sistema, a taxa de retorno de fisher foi negativa 0,04% para AC e positiva 0,13% para ALC, quando comparado com o NA, indicando que investir no sistema agroflorestal adubado neste espaçamento e durante esse período é inviável ao produtor. Inferindo que essa prática de manejo não é suportada pelo sistema erva-mate e eucalipto nessas condições.

5 CONCLUSÃO

A adubação residual NPK de liberação controlada incrementou 13,46% o DAP do eucalipto, quando cultivado no arranjo espacial 10x8 metros.

O efeito residual da adubação NPK de liberação controlada promoveu acréscimo de 12,61% em volume de eucalipto, no arranjo espacial de 10x8 metros.

A adubação convencional de pronta solubilidade incrementou em 5,12% o DAP do eucalipto, quando cultivado no arranjo espacial 20x8 metros.

O sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto são mais eficientes em 35% no uso da terra, quando comparado com o sistema solteiro da cultura da erva-mate.

A adubação de NPK nas erveiras, tanto convencional de pronta solubilidade como de liberação controlada é excludente no período de 5 anos, não tendo relação favorável entre os benefícios e custos para o sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto.

A adubação de NPK convencional de pronta solubilidade nas erveiras, no período de 23 anos em arranjo espacial do eucalipto 20x8 metros, tem uma relação favorável de produtividade e custos, trazendo ao produtor viabilidade econômica.

REFERENCIAS

ABDO, M. T; VALERI, S. V; MARTINS, A. L M. **Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante.** (2009): 50-59.

ALMEIDA, T. de C. **Utilização da cultura do milho e do sorgo no Brasil.** In: Ministério do Meio Ambiente. Serviço Florestal Brasileiro. **Guia para Medição de Produtos e Subprodutos Florestais Madeireiros das Concessões Florestais.** Brasília, 2012.

BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H., Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1990. P.11-21.

BALZON, D.R. et al. Aspectos mercadológicos de produtos florestais não madeireiros - análise retrospectiva. **Revista Floresta**, v.34, n.3, p.363-371, 2004

BEGON, M.; HARPER, J.L.Y.; TOWNSEND, C.R. Ecology: individuals, populations and communities. Boston: **Blackwell Scientific Publication.** 876p. 1990.

BELLOTE, AFJ; DEDECEK, R. A.; ICERI, P. M. Crescimento do *Eucalyptus grandis* plantado em diferentes solos no Estado de São Paulo, Brasil. In: congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas, 1., Belo Horizonte. **Anais....** Colombo: Embrapa Florestas. 2009.

BOUVET, J.M.; ANDRIANIRINA, G. L' *Eucalyptus grandis* à Madagascar: potentialités, bilan et orientations des travaux d'amélioration génétique. **Bois et forêts des tropiques**, n.226, p.5-19, 1980.

BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, Belo Horizonte. **Anais.** Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática.** 21 reimpressão. Traduzido do espanhol por Maria do Carmo Duarte de Oliveira. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984

COUTO, L. et al. Sistemas agroflorestais com eucaliptos no Brasil: Uma visão geral. **Viçosa: SIF**, 1998. 49 p. il. (Documento SIF 17).

DANIEL, O. **Erva-mate: sistema de produção e processamento industrial**.
Dourados: Ed. da UFGD, 2009.

DANIEL, Omar. DANIEL, O., BITTENCOURT, D., GELAIN, E.. Avaliação de um sistema agroflorestal eucalipto-milho no Mato Grosso do Sul. **Agrossilvicultura** (Viçosa), v. 1, n. 1, p. 15-28, 2004

DOS SANTOS, M. L.; LÍRIO, V. S.; VIEIRA, W. D. C. **Microeconomia aplicada**.
Viçosa: Biblioteca Central da UFV, 2009.

EGLER, F.E. Inicial floristic composition, a factor in old field vegetation development. **Vegetation science concepts**. Vegetatio, 4, 1954. p. 412-7.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro. 2006

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos em Minas Gerais**. 1997. 158 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1997.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

FISHER, I. **The Theory of Interest". Reprints of Economic Classics**. The Macmillan Co. Nova Yorque, 1961. 615p.

FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; ANNETTE L. COWIE; VANCLAY, J.K. Carbon allocation in a mixed species plantation of Eucalyptus globulus and Acacia mearnsii. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 2/3, p. 275-284, 2006

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: PRODEPEF/PNUD/FAO/IBDF/Bra-45, 1975. 65p. Série técnica 3

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. DOS.; SCHNEIDER, L. 2002. **Exploração, manejo e conservação da araucária (Araucaria angustifolia)**. In: Simões, L. L. & Lino, C. F. (Orgs). Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais. Editora Senac São Paulo, São Paulo, Brasil, p.85-101.

HIGA, A. R. **Eucalipto: sua evolução e contribuição no Brasil**. Silvicultura, São Paulo, v. 16, n. 63, p. 39-44, 1995.

HIGA, R.C.V.; MORA, A.L.; HIGA, A.R. Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2000. 31 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 54).

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

HOSOKAWA, R.T., MOURA, J.B. & CUNHA, U.S. 1998. **Introdução ao manejo e economia florestal**. Editora da UFPR, Curitiba.

HUXLEY, P.A. **And agroforestry**. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1983. 618 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. 1ª ed. v.25. Rio de Janeiro: IBGE, 50 p. 2013.

KAYE, J.P., RESH, S.C., KAYE, M.W., CHIMMER, R.A. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of Eucalyptus and Albizia trees. **Ecology**, Paris, n.81,p.3267–3273, 2000.

LOPES, H. V. S. **Análise econômica dos fatores que afetam a rotação de povoamentos de eucaliptos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 188p.

MACEDO, R.L.G. Principios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais. Labras: UFLA/FAEPE, 2000. MELADO, J. Sistema Agroflorestal I. **Agroecologia Hoje**. Ani III, n.15,jul/ago 2002.

MACHADO, S. A. et al. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196, maio/ago. 2002

MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO.A. **Dendrometria**.2ª ed. Guarapuava. Unicentro, 316p. 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1998. 596p.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p

MATIESKI, T. et al. ANÁLISE TÉCNICA E ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE AGROINDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE ERVA-MATE. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 18-23, 2015.

MAY, P. H.; TROVATTO, C. M. M. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008.

MAZUCHOWSKI, Jorge Zbigniew; EMPRESA PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Manual da erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hill.)**. EMATER/PR, 1991.

MORGADO, L.B.; RAO, M.R. **Conceitos e métodos experimentais em pesquisas com consorciação de culturas**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1986. 79p. (EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 33).

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. (In). MacDICKEN, K.G.; VERGARA, N. T. (Ed.) **Agroforestry: classification and management**. New York: Wiley Interscience, 1990. 382 p.

OLIVEIRA, E. B.; BERNETT, L. G.; MACHADO, S. A.; GRAÇA, L. R. SISEUCALIPTO - simulador para manejo de Eucalyptus grandis. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., 2000, Porto Seguro. **Resumos técnicos**. Rio de Janeiro: Instituto Ambiental Biosfera, 2000. p. 369-371.

OLIVEIRA NETO, S.N., REIS, G.G., REIS, M.G.F., NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em Eucalyptus camaldulensis Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Árvore**, v.27, n.1, p.15-23, 2003.

OLIVEIRA, J.S.R. **Uso do território, experiências inovadoras e sustentabilidade: um estudo em unidades de produção familiares de agricultores na área de abrangência do programa Proambiente, Nordeste Paraense**. Belém, 116f. 2006. Dissertação (Mestrado em Agricultura Familiar). NEAF/UFPA/Embrapa, Belém, 2006.

OLIVEIRA, Sibeles Vasconcelos de; WAQUIL, Paulo Dabdal. Dynamics of production and commercialization of yerba mate in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Rural**, n. AHEAD, p. 00-00, 2014.

OLIVEIRA, T. K., et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 01, 2010.

OLIVEIRA, P, J., DE CAMPOS, P; SILVA PEREIRA, J. "**Viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais produtores de sementes florestais e frutas nativas no município de Vitória do Xingu-Pa**" Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 204, 2014.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de Pinus taeda L.**; il. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010. 196 f.

PENEIREIRO, F. M. **Fundamentos da agrofloresta sucessional**. Artigo apresentado no II Simpósio sobre Agrofloresta Sucessionais, em Sergipe. 2003.

PENEIREIRO, F.M. **Sistemas Agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso**. Tese de Mestrado. ESALQ/USP, Piracicaba. 1999. 138p. **REVISTA DA MADEIRA – REMADE**. Técnicas de plantio alteram resultados. **Revista da Madeira**, n. 97, 2006.

RODIGHERI, H. R. **Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais e sistemas agroflorestais com erva-mate, eucalipto, pinus e as culturas do feijão, milho, soja e trigo**. Colombo: Embrapa-CNPf, 1997. 36p. (Circular Técnica, 26).

RODIGHERI, H.R., SCHLOSSNACHER NETO, L., CICHACZEWSKI, I.F. **Custos, produtividade e renda da erva-mate cultivada na região de Guarapuava, PR**. Colombo: EMRAPA-CNPf, 1996. 22p. (Circular Técnica, 24)

RODIGHERI, H.R.; GRAÇA, L.R. Análise econômica comparativa de dois sistemas de cultivo de erva-mate com o de rotação de soja-trigo no sul do Brasil. **Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**, 34, 1996.

RODRIGUES, A.C.G. **Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: Funcionalidade e Sustentabilidade**. In: MULLER, M.W.; RODRIGUES, A.C.G.; BRANDÃO, I.C.F.L.; SERÓDIO, M.H.C.F. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus: CEPLAC, 2004. p. 67- 88.

ROSA, L.S.; VIEIRA, T.A.; SANTOS, A.P.A; MENEZES, A.A.S.; RODRIGUES, A.F.; PEROTE, J.R.S.; LOPES, C.V.C. **Limites e oportunidades para a adoção de sistemas agroflorestais pelos agricultores familiares da microrregião Bragantina, PA.** In: PORRO, R. (Org.). *Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.645-670.

ROSSA, U. B. **Produtividade e compostos foliares de erva-mate sob efeitos de luminosidade e fertilização.** 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Setor de Floresta, Universidade. Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

SANTOS, A. C. **O papel dos sistemas agroflorestais para usos sustentáveis da terra e políticas públicas relacionadas** - Indicadores de Funcionalidade Econômica e Ecológica de SAFs em Redes Sociais da Amazônia e Mata Atlântica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Subprograma Projetos Demonstrativos (PDA), 2010

SCHÖNAU, A.P.G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. **Forest ecology and management**, v.29, p.245-266, 1989.

SECRETARIA DO ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO-SEAB. **Valor bruto da produção agrícola do paranaense.** Curitiba, 2015

SILVA, M. L. da; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. L. **Economia florestal.** Viçosa: UFV, 2002. 178 p.

SILVA, J.C. Eucalipto, arroz, soja e carne: uma economia e dieta saudável. **Revista da Madeira**. n. 86, ano 14, 12/2004.

SOUZA, H. N.; GRAAFF, J.; PULLEMAN, M. M. Strategies and economics of farming systems with coffee in the Atlantic Rainforest Biome. **Agroforestry Systems**, v. 84, p. 227-242, 2011.

STEEL, ROBERT G. D., AND JAMES H. TORRIE. Principles and Procedures of Statistics, with Special **Reference to Biological Sciences** [by] Robert G.D. Steel [and] James H. Torrie. New York: McGraw-Hill, 1960.

TETTO, A. F; ROSSETO, A; MAZUCHOWSKI, J. Z; GONÇALVES, R. V . Aspectos socioambientais de um SAF de erva-mate com eucalipto e feijão para agricultura familiar. In: VII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2009, Brasília. **Anais...**, 2009

VASCONCELLOS, F.C.F. **Os impactos da criação do Mercosul no mercado de erva-mate no Rio Grande do Sul**. 2012. 66f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 225-231, 2001.

VEZZANI, F. M; MIELNICZUK, J. An overview of soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VIVAN, J. L. **O papel dos sistemas agroflorestais para usos sustentáveis da terra e políticas públicas relacionadas**- Relatório Síntese e Estudos de Caso. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Subprograma Projetos Demonstrativos (PDA), 2010.

WILLEY, R. S. **Intercropping – its importance and research needs**. Part 1. Competition and yield advantages. Field Crop Abstracts 1979.

WOLF, R; WEMERSON, M. ANÁLISE ECONÔMICA DA EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ERVA-MATE EM MATO GROSSO DO SUL. **Rev. Agro. Amb.**, v.8, n.1, p. 57-78, jan./abr. 2015

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto desde que implantados e manejados, é um sistema de produção produtivo e viável economicamente por um longo período. A utilização deste sistema pode melhorar a qualidade de vida das famílias dos produtores rurais, contribuindo para aumento de renda.

Na avaliação do sistema, o manejo da luminosidade aparente no erval acima de 45% de luz incrementa o crescimento e a produtividade da erva mate.

A luminosidade aparente de 30% é uma recomendação para a cultura da erva mate em resposta de acréscimo dos teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, ferro, zinco e sódio. Já os teores de cálcio, magnésio, manganês e cobre tiveram incrementos nas faixas de luminosidade 60% e 45%.

Novos produtos derivados da erva mate podem ter altos teores de proteínas totais e metilxantinas totais influenciados pela luminosidade aparente na erva mate de 30% e 45%, aliado com a adubação NPK convencional de pronta solubilidade.

O efeito residual da adubação NPK de liberação controlada na erva-mate promoveu incrementos correntes do DAP no desenvolvimento do eucalipto, entretanto não tendo relação favorável entre os benefícios e custos para o sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto. Já a adubação de NPK convencional de pronta solubilidade nas erva mate, no período de 23 anos, em arranjo espacial do eucalipto 20x8 metros, tem uma relação favorável de produtividade e custos, trazendo ao produtor viabilidade econômica.

Recomenda-se ao produtor rural, onde a pesquisa foi desenvolvida, a implantação do sistema agroflorestal erva-mate e eucalipto com o manejo da não prática do trato cultural adubação NPK nas erva mate e a manutenção da luminosidade aparente no erval acima de 45%.